

**DURUMU İZLENEN İŞ MİLİ MOTORUNUN
HIZ DENETİMİ**

**2016
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

Kürşat Mustafa KARAOĞLAN

DURUMU İZLENEN İŞ MİLİ MOTORUNUN HIZ DENETİMİ

Kürşat Mustafa KARAOĞLAN

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır.

KARABÜK

Ocak 2016

Kürşat Mustafa KARAOĞLAN tarafından hazırlanan "DURUMU İZLENEN İŞ MİLİ MOTORUNUN HIZ DENETİMİ" başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Metin ZEYVELİ

.....

Tez Danışmanı, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir. 29/01/2016

Unvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Rıfat HACIOĞLU (BEÜN)

.....

Üye : Prof. Dr. Raif BAYIR (KBÜ)

.....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Metin ZEYVELİ (KBÜ)

.....

...../...../2016

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nevin AYTEMİZ

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Kürşat Mustafa KARAOĞLAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DURUMU İZLENEN İŞ MİLİ MOTORUNUN HIZ DENETİMİ

Kürşat Mustafa KARAOĞLAN

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Metin ZEYVELİ

Ocak 2016, 120 sayfa

Bu tez çalışmasında, geleneksel bir torna tezgahı; yazılım ve mikrodenetleyicilerle gerçek zamanlı kontrol edilebilen, bilgisayar destekli tezgaha dönüştürülmüştür. Tezgahın eksen hareketlerinde adım motorlar kullanılmıştır. Bu sayede operatör kaynaklı zaman, ölçü ve denetim hataları minimize edilmiş ve seri üretime olanak sağlanmıştır.

Çalışmada iş mili motoru olarak sabit mıknatıslı fırçalı doğru akım (DA) motoru kullanılmıştır. Motorun devir sayısı ve akım verilerinin gerçek zamanlı olarak izlenmesi için durum izleme yazılımı geliştirilmiştir. Yazılıma, gerçekleştirilen imalat verilerini kaydetmek ve raporlamak, tezgah üzerindeki tüm operasyonları yönetmek için modüller eklenmiştir. Ayrıca bu yazılımla, iş mili motorunun devir sayısını sabitlemek amacıyla, mikrodenetleyici üzerinde gömülü PID (Proportional Integral Derivative) ve bulanık mantık (BM) yöntemleriyle hız denetimleri de uygulanmıştır.

Bütün bu modüllerin operatör tarafından kolaylıkla kullanılabilmesi için kullanıcı ara yüzü geliştirilmiştir. Geliştirilen tezgah sistemini test etmek için farklı kesme hızlarında (200, 260, 320, 380, 440 m/dk) ve ilerleme hızlarında (0,05, 0,1, 0,15 mm/dev), alüminyum alaşımlı malzeme kullanılarak deneyler yapılmıştır.

Deneyle sonuçunda kesme hızına bağı olarak, PID ve BM hız denetim yöntemlerinin talaş kaldırma anındaki enerji tüketimine ve işlenen malzemenin yüzey pürüzlülüğüne etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak enerji tüketimi açısından BM ile hız denetimi yöntemi, PID ile hız denetimi yöntemine göre daha iyi performans göstermiştir. Yüzey pürüzlülüğü açısından, birçok deneyde (%60), PID hız denetimi yöntemiyle elde edilen yüzey pürüzlülüğü sonuçlarının, BM hız denetimi yöntemiyle elde edilen sonuçlara göre daha iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Sözcükler : CNC, PID, bulanık mantık, gerçek zamanlı kontrol, durum izleme sistemi, malzeme yazılımı.

Bilim Kodu :

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

SPEED CONTROL OF CONDITION MONITORED SPINDLE MOTOR

Kürşat Mustafa KARAOĞLAN

**Karabuk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechatronics Engineering**

**Thesis Advisor:
Assist. Prof. Dr. Metin ZEYVELİ
January 2016, 120 pages**

In this thesis, a conventional turning lathe system which can be controlled in real time by microcontrollers and software, has been transformed into computer-aided lathe. Step motors are used in the lathe for axis movement. Thus, operator-based time, measurement and control errors are minimized, and mass production is realized.

In this study, a permanent magnet brush DC motor has been used as the spindle motor. Condition monitoring software has been developed for monitoring of motor speed and current data in real time. The software modules are integrated to save and report the manufactured data and manage all operations on the lathe. Also, speed control has been implemented with PID (Proportional Integral Derivative) and fuzzy logic control methods that is embedded on microcontroller for locking speed.

User interface has been developed for using all of these modules easily by the operator. Experimental has been made aluminum alloy materials to test the developed lathe system at different cutting speeds (200, 260, 320, 380, 440 m/min) and progression rates (0.05, 0.1, 0.15 mm/rev).

Depending on the results of experiments, according to the cutting speed, energy consumption and its effect on the surface roughness of the processed materials were investigated during machining. As a result of experiments, speed control method with fuzzy logic related with energy consumption has been presented much better performance than speed control method with PID. In terms of surface roughness, in many experiments (60%), the obtained results by the speed control of PID are much better than the one's obtained by the speed control of fuzzy logic method.

Key Word : CNC, PID, fuzzy logic, real time control, condition monitoring system, material software.

Science Code :

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam boyunca bilgi ve deneyimleriyle yol gösteren Sayın Yrd. Doç. Dr. Metin ZEYVELİ'ye, tezin yürütülmesi ve sonuçlandırılmasında ilgi ve desteğini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Raif BAYIR'a, tez çalıőmam boyunca bilgi ve tecrübelerini paylaőan Sayın Prof. Dr. Bahattin ÇELİK, Sayın Yrd. Doç. Dr. Ali UYSAL, Sayın Yrd. Doç. Dr. Hüseyin Oktay ERKOL, Sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet BOY, Sayın Öęr. Gör. Burak ÇİFTÇİ ve Sayın Öęr. Gör. Serhat Orkun TAN'a, çalıőmamıza donanım desteği veren MEDEL Elektrik Elektronik Sanayi Limited Őirketi'ne, her konuda sabırla yanımda olan haklarını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim eőim Nursel KARAOğLAN ve biricik oğlum Ahmet Tarık KARAOğLAN'a desteklerinden dolayı en kalbi duygularımla teşekkür ederim.

Bu alıőma, Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiőtir. Proje No: KB-BAP-13/2-YL-027

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xix
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	5
LİTERATÜR TARAMASI.....	5
BÖLÜM 3	10
CNC TEZGAHLAR VE DURUM İZLEME SİSTEMLERİ	10
3.1. CNC TEZGAHLAR, TEZGAH İŞLEMLERİ VE TAHRIK MOTORLARI HAKKINDA GENEL BİLGİLER	10
3.1.1. CNC Tezgahlarda Kullanılan Koordinat Sistemleri.....	11
3.1.2. CNC Torna Tezgahları	12
3.1.2.1. Tornalama İşlemi	13
3.1.2.2. CNC Torna Tezgahı Temel Kısımları.....	13
3.1.2.3. Torna Tezgahlarda Devir Sayısı, Kesme ve İlerleme Hızı Hesaplamaları.....	14
3.1.2. CNC Tezgahlarda Kullanılan Tahrik Motorları	15
3.1.2.1. DA Motorları.....	15
3.1.2.2. DA Motoru Kontrolü	17

3.1.2.3. Takım Tezgahlarında Kullanılan Diğer Motorlar	17
3.2. DURUM İZLEME SİSTEMLERİ	20
BÖLÜM 4	23
MATERYAL VE METOD	23
4.1. MATERYAL.....	23
4.1.1. Geleneksel Tezgaha Ait Teknik Bilgiler	23
4.1.2. İş Mili Motoru Ve Sürücüsü.....	25
4.1.3. Adım Motorlar Ve Sürücüleri	26
4.1.4. Sabitleme Ve Aktarma Elemanları.....	27
4.1.5. Manuel Kontrol Ünitesi İçin 4 Kanallı Röle Kartı	28
4.1.6. Sistem Kontrol Mikrodenetleyicisi	29
4.1.7. Eksen Kontrol Kartı Ve Uygulama Yazılımı	30
4.1.8. Sistemde Yer Alan Algılayıcılar	32
4.1.8.1. Devir Algılayıcısı/Dönüştürücüsü	32
4.1.8.2. Akım Algılayıcısı/Dönüştürücüsü	33
4.1.9. Kesici Takımlar ve Takım Tutucular	34
4.1.10. Yazılım Geliştirme Platformu Ve Veri Tabanı Yönetim Sistemi	35
4.1.10.1. NET Framework ve Visual Studio Geliştirme Platformu.....	35
4.1.10.2. Veri Tabanı Yönetim Sistemi (VTYS)	36
4.2. METOD.....	37
4.2.1. Sistem Genel Tasarımı	37
4.2.2. Sistem Yazılımları.....	38
4.2.2.1. Tezgah Denetimi Ve Durum İzleme Yazılımı	39
4.2.2.2. Gömülü Sistem Yazılımı	41
4.2.3. Malzeme Veri Tabanı Yazılımı.....	42
4.2.3.1. Veri Tabanı Tasarımı	42
4.2.3.2. Malzeme Veri Tabanı Kayıt Ve Listeleme Yazılım Ara Yüzleri ..	42
4.2.4. CAM Yazılımı Ve Eksen Hareketleri	46
4.2.5. İş Mili Motoru Devir Sayısı Ölçüm Yöntemi	47
4.2.6. İş Mili Motoru Hız Denetim Yöntemleri	48
4.2.6.1. PID İle Hız Denetimi Yöntemi	49
4.2.6.2. BM İle Hız Denetimi Yöntemi	52

BÖLÜM 5	61
DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLAR	61
5.1. FARKLI GEOMETRİLERDE İŞLEME (ÖN TEST).....	63
5.2. PID DENETİMLİ DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARI.....	65
5.2.1. PID Yöntemi İle 850 Devir Sayısı (dev/dk) Ve 0,05, 0,1, 0,15 (mm/dev) İlerleme Hızlarına İlişkin Deneyler	66
5.2.2. PID Yöntemi İle 1100 Devir Sayısı (dev/dk) Ve 0,05, 0,1, 0,15 (mm/dev) İlerleme Hızlarına İlişkin Deneyler	70
5.2.3. PID Yöntemi İle 1359 Devir Sayısı (dev/dk) Ve 0,05, 0,1, 0,15 (mm/dev) İlerleme Hızlarına İlişkin Deneyler	74
5.2.4. PID Yöntemi İle 1614 Devir Sayısı (dev/dk) Ve 0,05, 0,1, 0,15 (mm/dev) İlerleme Hızlarına İlişkin Deneyler	78
5.2.5. PID Yöntemi İle 1868 Devir Sayısı (dev/dk) Ve 0,05, 0,15 (mm/dev) İlerleme Hızlarına İlişkin Deneyler	82
5.3. BM DENETİMLİ DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARI	84
5.3.1. BM Yöntemi İle 850 Devir Sayısı (dev/dk) Ve 0,05, 0,1, 0,15 (mm/dev) İlerleme Hızlarına İlişkin Deneyler	85
5.3.2. BM Yöntemi İle 1100 Devir Sayısı (dev/dk) Ve 0,05, 0,1, 0,15 (mm/dev) İlerleme Hızlarına İlişkin Deneyler	89
5.3.3. BM Yöntemi İle 1359 Devir (dev/dk) Sayısı Ve 0,05, 0,1, 0,15 (mm/dev) İlerleme Hızlarına İlişkin Deneyler	93
5.3.4. BM Yöntemi İle 1614 Devir Sayısı (dev/dk) Ve 0,05, 0,1, 0,15 (mm/dev) İlerleme Hızlarına İlişkin Deneyler	97
5.3.5. BM Yöntemi İle 1868 Devir Sayısı (dev/dk) Ve 0,05, 0,15 (mm/dev) İlerleme Hızlarına İlişkin Deneyler	101
5.4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR İLİŞKİN AKIM, GÜÇ, ENERJİ TÜKETİMİ VE PÜRÜZLÜLÜK SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI	104
5.4.1. Devir Sayısı 850 dev/dk İçin Akım, Güç, Enerji Tüketimi Ve Pürüzlülük Karşılaştırılması	104
5.4.2. Devir Sayısı 1100 dev/dk İçin Akım, Güç, Enerji Tüketimi Ve Pürüzlülük Karşılaştırılması	106
5.4.3. Devir Sayısı 1359 dev/dk İçin Akım, Güç, Enerji Tüketimi Ve Pürüzlülük Karşılaştırılması	107

5.4.4. Devir Sayısı 1614 dev/dk İçin Akım, Güç, Enerji Tüketimi Ve Pürüzlülük Karşılaştırılması	109
5.4.5. Devir Sayısı 1868 dev/dk İçin Akım, Güç, Enerji Tüketimi Ve Pürüzlülük Karşılaştırılması	111
BÖLÜM 6	113
SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	113
KAYNAKLAR	115
ÖZGEÇMİŞ	120



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. CNC tezgahlar genel çalışma prensibi.	11
Şekil 3.2. Torna ve freze tezgahları için eksenler.	11
Şekil 3.3. Tezgahlarda kullanılan koordinat sistemleri.	12
Şekil 3.4. Örnek bir CNC torna tezgahı.	12
Şekil 3.5. Tornalama işlemi.	13
Şekil 3.6. Geleneksel bir torna tezgahın kısımlarına ilişkin görüntü.	13
Şekil 3.7. Tezgah hız kutusu görüntüsü.	14
Şekil 3.8. Doğru akım motoru iç yapısı.	16
Şekil 3.9. Fırçalı sabit mıknatıslı bir DA motoru.	16
Şekil 3.10. Adım motorların tezgaha bağlantısına ve kullanılan adım motora ilişkin görüntüler.	18
Şekil 3.11. Motorların bağlantı şekilleri; a) freze modeli, b) torna modeli.	18
Şekil 3.12. Adım motorların kapalı döngü denetimi blok şeması.	19
Şekil 3.13. Basit bir durum izleme sistemi blok şeması.	21
Şekil 4.1. Geleneksel torna tezgahı yan görünümü.	23
Şekil 4.2. Geleneksel torna tezgahı üst görünümü.	23
Şekil 4.3. Geleneksel torna tezgah üzerindeki donanım birimlerine ilişkin görüntü.	24
Şekil 4.4. Tez çalışmasında kullanılan iş mili motor görüntüsü.	25
Şekil 4.5. İş mili motor sürücü ve devre kartı görüntüsü.	25
Şekil 4.6. Sistemde eksen hareketlerinde kullanılan Nema23 tipli adım motor.	26
Şekil 4.8. Sistemde yer alan tezgah ve eksenlere ait montaj çizimi görüntüsü.	28
Şekil 4.9. Eksen motorları montajı sonrası torna tezgah görünümü.	28
Şekil 4.10. Dört kanallı röle ve manuel kontrol ünitesine ilişkin görüntü.	29
Şekil 4.11. Röle kartı üzerinde iki kanal ile DA motor yön kontrolü devre şeması.	29
Şekil 4.12. Arduino Due mikrodenetleyici kart görüntüsü.	30
Şekil 4.13. Sistemde kullanılan eksen hareketleri kontrol kartı görüntüsü.	31
Şekil 4.14. Sistemde kullanılan CAM yazılımı örnek ara yüzüne ilişkin görüntü.	32
Şekil 4.15. Sistemde kullanılan manyetik devir algılayıcısı.	32

Şekil 4.16. Sistemde kullanılan akım algılayıcısı.	33
Şekil 4.17. Akım algılayıcısı a) giriş/çıkış pin görünümü ve b) bağlantı şeması.	33
Şekil 4.18. Akım algılayıcısı girişe bağlı çıkış gerilimi karakteristik grafiği.	34
Şekil 4.19. Düz profil işlemede kullanılan a) kesici takım, b) geometrisi ve c) takım tutucu teknik çizim görüntüsü.	34
Şekil 4.20. Farklı profil işlemede kullanılan a) kesici takım, b) geometrisi ve c) takım tutucu teknik çizim görüntüsü.	35
Şekil 4.21. Visual Studio platformunda örnek bir başlangıç IDE görüntüsü.	35
Şekil 4.22. MSSQL Server 2008 Management Studio VTYS platformu.	36
Şekil 4.23. Sisteme ait genel bir tasarım blok şeması.	37
Şekil 4.24. Sistem yazılımlarının birbirleriyle ilişkileri.	38
Şekil 4.25. Tezgah denetimi ve durum izleme yazılımı temel akış şeması.	39
Şekil 4.26. Tezgah denetim yazılımı giriş ara yüzü.	40
Şekil 4.27. Durum İzleme Sistemi ve tezgah denetim yazılımına ait örnek ara yüzler.	40
Şekil 4.28. Gömülü sistem yazılımı temel akış diyagramı.	41
Şekil 4.29. Veri tabanı tablo tasarımı görüntüsü.	42
Şekil 4.30. Malzeme grup ve alt grup verilerine ilişkin yazılım ara yüzleri.	43
Şekil 4.31. Uç tipi ve uç tipi yönü verilerine ilişkin yazılım ara yüzleri.	43
Şekil 4.32. Uç tipi geometri verilerine ilişkin yazılım ara yüzü.	44
Şekil 4.33. Kesme koşul parametre verilerine ilişkin yazılım ara yüzü.	44
Şekil 4.34. Kalite kodu verilerine ilişkin yazılım ara yüzü.	45
Şekil 4.35. Kesme hız verilerine ilişkin yazılım ara yüzü.	45
Şekil 4.36. İş parçasına ait referans kesme hızının belirlenmesi için hazırlanan yazılım ara yüzü.	46
Şekil 4.37. Kesme hızına ve iş parçası çapına bağlı olarak devir sayısı hesaplama yazılım ara yüzü.	46
Şekil 4.38. CAM ile tasarımın imalata uygulanmasına ilişkin blok şeması.	47
Şekil 4.39. Devir bilgisi ölçüm devresi.	47
Şekil 4.40. Denetim yöntemi seçimine ilişkin yazılım ara yüzü.	48
Şekil 4.41. Gömülü denetim yazılımı akış şeması.	49
Şekil 4.42. PID ile hız denetimi yöntemine ait blok diyagramı.	50
Şekil 4.43. BM ile hız denetimine ilişkin blok diyagramı.	53
Şekil 4.44. BM ile iş mili motoru hız denetimi blok diyagramı.	53

Şekil 4.45. Tezgah iş mili motoru için tasarlanan BM ile hız denetimi yöntemi çalışmasına ilişkin blok şema.....	54
Şekil 4.46. Üçgen şeklindeki örnek bir üyelik fonksiyonu.....	55
Şekil 4.47. BM denetleyicisi için kullanılan giriş ve çıkış sözel değişkenlerine ilişkin üyelik fonksiyonları.....	57
Şekil 4.48. BM denetleyicisine ilişkin kural tabanı tablosu.....	58
Şekil 4.49. Mamdani BM çıkarımına max, min teoremi.....	59
Şekil 5.1. PID yöntemiyle gerçekleştirilen yüzey sıfırlama işlemine ilişkin devir sayısı, akım ve güç grafiği (1000 dev/dk).....	62
Şekil 5.2. Farklı geometriye sahip malzemenin a) görüntüsü, b) 2 boyutlu çizimi. ..	64
Şekil 5.3. Farklı geometride işlenen malzemeye ait devir, akım, güç grafiği.....	64
Şekil 5.4. PID denetimli, devir, akım, güç grafiği (850 dev/dk, 0,05 mm/dev).....	66
Şekil 5.5. PID denetimli, devir, akım, güç grafiği (850 dev/dk, 0,1 mm/dev).....	67
Şekil 5.6. PID denetimli, devir, akım, güç grafiği (850 dev/dk, 0,15 mm/dev).....	68
Şekil 5.7. PID denetimli devir, akım, güç grafiği (1100 dev/dk, 0,05 mm/dev).....	70
Şekil 5.8. PID denetimli, devir, akım, güç grafiği (1100 dev/dk, 0,1 mm/dev).....	71
Şekil 5.9. PID denetimli, devir, akım, güç grafiği (1100 dev/dk, 0,15 mm/dev).....	72
Şekil 5.10. PID denetimli, devir, akım, güç grafiği (1359 dev/dk, 0,05 mm/dev)....	74
Şekil 5.11. PID denetimli, devir, akım, güç grafiği (1359 dev/dk, 0,1 mm/dev).....	75
Şekil 5.12. PID denetimli, devir, akım, güç grafiği (1359 dev/dk, 0,15 mm/dev)....	76
Şekil 5.13. PID denetimli, devir, akım, güç grafiği (1614 dev/dk, 0,05 mm/dev)....	78
Şekil 5.14. PID denetimli, devir, akım, güç grafiği (1614 dev/dk, 0,1 mm/dev).....	79
Şekil 5.15. PID denetimli, devir, akım, güç grafiği (1614 dev/dk, 0,15 mm/dev)....	80
Şekil 5.16. PID denetimli, devir, akım, güç grafiği (1868 dev/dk, 0,05 mm/dev)....	82
Şekil 5.17. PID denetimli, devir, akım, güç grafiği (1868 dev/dk, 0,15 mm/dev)....	83
Şekil 5.18. BM denetimli, devir, akım ve güç grafiği (850 dev/dk, 0,05 mm/dev). ..	85
Şekil 5.19. BM denetimli, devir, akım ve güç grafiği (850 dev/dk, 0,1 mm/dev).	86
Şekil 5.20. BM denetimli, devir, akım ve güç grafiği (850 dev/dk, 0,15 mm/dev). ..	87
Şekil 5.21. BM denetimli, devir, akım ve güç grafiği (1100 dev/dk, 0,05 mm/dev). ..	89
Şekil 5.22. BM denetimli, devir, akım ve güç grafiği (1100 dev/dk, 0,1 mm/dev). ..	90
Şekil 5.23. BM denetimli, devir, akım ve güç grafiği (1100 dev/dk, 0,15 mm/dev). ..	91
Şekil 5.24. BM denetimli, devir, akım ve güç grafiği (1359 dev/dk, 0,05 mm/dev). ..	93
Şekil 5.25. BM denetimli, devir, akım ve güç grafiği (1359 dev/dk, 0,1 mm/dev). ..	94

Şekil 5.26. BM denetimli, devir, akım ve güç grafiği (1359 dev/dk, 0,15 mm/dev).	95
Şekil 5.27. BM denetimli, devir, akım ve güç grafiği (1614 dev/dk, 0,05 mm/dev).	97
Şekil 5.28. BM denetimli, devir, akım ve güç grafiği (1614 dev/dk, 0,1 mm/dev).	98
Şekil 5.29. BM denetimli, devir, akım ve güç grafiği (1614 dev/dk, 0,15 mm/dev).	99
Şekil 5.30. BM denetimli, devir, akım ve güç grafiği (1868 dev/dk,0,05 mm/dev).	101
Şekil 5.31. BM denetimli, devir, akım ve güç grafiği (1868 dev/dk,0,15 mm/dev).	102
Şekil 5.32. 850 dev/dk devir sayısı referans değeri için, PID ve BM ile hız denetimi yöntemlerine ilişkin a) akım, b) güç değerleri.	104
Şekil 5.33. PID ve BM hız denetimi yöntemlerinin a) enerji tüketimi ve b) pürüzlülük sonuçlarının karşılaştırılması (850 dev/dk).	105
Şekil 5.34. 1100 dev/dk devir sayısı referans değeri için, PID ve BM ile hız denetimi yöntemlerine ilişkin a) akım, b) güç değerleri.	106
Şekil 5.35. PID ve BM hız denetimi yöntemlerinin a) enerji tüketimi ve b) pürüzlülük sonuçlarının karşılaştırılması (1100 dev/dk).	107
Şekil 5.36. 1359 dev/dk devir sayısı referans değeri için, PID ve BM ile hız denetimi yöntemlerine ilişkin a) akım, b) güç değerleri.	108
Şekil 5.37. PID ve BM hız denetimi yöntemlerinin a) enerji tüketimi ve b) pürüzlülük sonuçlarının karşılaştırılması (1359 dev/dk).	108
Şekil 5.38. 1614 dev/dk devir sayısı referans değeri için, PID ve BM ile hız denetimi yöntemlerine ilişkin a)akım, b) güç değerleri	109
Şekil 5.39. PID ve BM hız denetimi yöntemlerinin a) enerji tüketimi ve b) pürüzlülük sonuçlarının karşılaştırılması (1614 dev/dk).	110
Şekil 5.40. 1868 dev/dk devir sayısı referans değeri için, PID ve BM hız denetimi yöntemlerine ilişkin a) akım, b) güç değerleri.	111
Şekil 5.41. PID ve BM hız denetimi yöntemlerinin a) enerji tüketimi ve b) pürüzlülük sonuçlarının karşılaştırılması (1868 dev/dk).	112

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 4.1. Geleneksel torna tezgahına ait teknik özellikler.	24
Çizelge 4.2. Eksen hareketleri adım motorlarına ait teknik özellikler.	26
Çizelge 4.3. Eksen hareketleri adım motor sürücülerine ait teknik özellikler.	27
Çizelge 4.4. Arduino Due mikrodenetleyicisine ait teknik özellikler.	30
Çizelge 4.1. PID denetleyici parametrelerinin etkileri.	50
Çizelge 4.2. BM ile hız denetimi yönteminde üyelik fonksiyonları için kullanılan giriş ve çıkış sözel değişkenleri.	54
Çizelge 4.3. Sistem giriş/çıkış değişkenlerinin bulanık sözel değişkenleri.	55
Çizelge 4.4. BM denetleyicisine ilişkin giriş sözel değişkenlerine ait özellikler.	55
Çizelge 4.5. BM denetleyicisine ilişkin çıkış sözel değişkenine ait özellikler.	56
Çizelge 4.6. BM denetleyicisi giriş ve çıkış değişkenlerinin bulanıklaştırılması.	56
Çizelge 5.1. Deneysel çalışmalara ait genel bilgiler.	61
Çizelge 5.2. PID denetimli, 1000 devir sayısında (dev/dk), TKÖ, TKA, TKS süreçlerine ilişkin devir sayısı, akım, güç ve enerji tüketimi sayısal verileri.	63
Çizelge 5.3. Farklı geometrilere sahip malzeme üzerinde TKA'da elde edilen akım, güç ve enerji tüketimine ilişkin sayısal veriler.	65
Çizelge 5.4. PID yöntemiyle, 850 dev/dk devir sayısı, 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarıyla gerçekleştirilen deneylere ilişkin sayısal veriler.	69
Çizelge 5.5. PID yöntemiyle, 1100 dev/dk devir sayısı 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarıyla gerçekleştirilen deneylere ilişkin sayısal veriler.	73
Çizelge 5.6. PID yöntemiyle, 1359 dev/dk devir sayısı 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarıyla gerçekleştirilen deneylere ilişkin sayısal veriler.	77
Çizelge 5.7. PID yöntemiyle, 1614 dev/dk devir sayısı 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarıyla gerçekleştirilen deneylere ilişkin sayısal veriler.	81
Çizelge 5.8. PID yöntemiyle, 1868 dev/dk devir sayısı 0,05 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarıyla gerçekleştirilen deneylere ilişkin sayısal veriler.	84

Çizelge 5.9. BM yöntemiyle, 850 dev/dk devir sayısı 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarıyla gerçekleştirilen deneylere ilişkin sayısal veriler....	88
Çizelge 5.10. BM yöntemiyle, 1359 dev/dk devir sayısı 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarıyla gerçekleştirilen deneylere ilişkin sayısal veriler....	92
Çizelge 5.11. BM yöntemiyle, 1359 dev/dk devir sayısı, 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarıyla gerçekleştirilen deneylere ilişkin sayısal veriler....	96
Çizelge 5.12. BM yöntemiyle, 1614 dev/dk devir sayısı, 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarıyla gerçekleştirilen deneylere ilişkin sayısal veriler...	100
Çizelge 5.13. BM yöntemiyle, 1868 dev/dk devir sayısı, 0,05 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarıyla gerçekleştirilen deneylere ilişkin sayısal veriler.....	103



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

mm	: Milimetre
mm/dk	: Milimetre/ dakika
mm/dev	: Milimetre / devir
dev/dk	: Devir/ dakika
m/dk	: Metre/ dakika
Nm	: Newton metre
N	: Devir sayısı
V	: Volt
Kg	: Kilogram
W	: Watt
A	: Amper
kB	: Kilobyte
mHz	: Megahertz
mV	: Mili volt
s	: Saniye
ms	: Mili saniye
Ws	: Watt saniye

KISALTMALAR

NC	: Numerical Control (Sayısal Denetim)
CNC	: Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Denetimli)
CAD	: Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CAM	: Computer Manufacturing (Bilgisayar Destekli İmalat)
BM	: Bulanık Mantık

PID : Proportional Integral Derivative (Oransal İntegral Türev)
DGM : Darbe Genişlik Modülasyonu
IDE : Integrated Development Environment
AA : Alternatif Akım
DA : Doğru Akım
ARM : Acorn RISC Machine (RISC Tabanlı Bir İşlemci Mimarisi)
VTYS : Veri Tabanı Yönetim Sistemi
SQL : Structed Query Language (Yapısal Sorgu Dili)
NYP : Nesneye Yönelik Programlama
USB : Universal Serial Bus (Universal Seri Arabirim)
ADD : Analogdan Dijitale Dönüştürücü
RPM : Revolutions Per Minute (Dakikada Dönme Hızı)
TKÖ : Talaş Kaldırma Öncesi
TKA : Talaş Kaldırma Anı
TKS : Talaş Kaldırma Sonrası

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Çağımızda hızla gelişim gösteren teknolojik ilerlemeler, her alanda olduğu gibi imalat endüstrisinde de üretim performansını önemli ölçüde arttırmıştır. Dünyada, küreselleşme sonucu yaşanan yoğun rekabet ortamında işletmelerin başarıları, tüketicilerin istek ve ihtiyaçlarının istenilen zaman, miktar, kalite ve en uygun maliyetlerle karşılayabilme yeteneklerini sürekli olarak geliştirmelerine bağlıdır. İleri imalat teknolojileri; yaşanan bu yoğun rekabet ortamında işletmelerin ürün ve süreç teknolojilerini geliştirmelerinde kullanılan en önemli gelişmelerden biridir. Bir imalatın tasarım, üretim süreçlerindeki zaman kayıpları ve insan faktörü düşünüldüğünde ürün taleplerinin daha kısa zamanda karşılanması için imalatın ileri imalat teknolojileri kullanarak yapılması harcanan zamanın azalmasına ve üretimin iyileşmesine olanak sağlamaktadır. Bu bağlamda daha düşük maliyet, daha kaliteli ürün ve artan verimlilik için işletmelerin imalat yeteneğini artıran ve müşterilere uygun ürünlerin hızlı dağıtımını sağlayan ileri imalat teknolojilerinin kullanımı zorunlu hale gelmiştir. İşletmelerin rekabet güçlerini iyileştirmeleri için, ileri imalat teknolojilerini kullanmaları zaman ve maliyet kayıplarını azaltarak ve kaliteyi arttırmaktır [1]. Teknolojik bakımdan kendilerini yenileyerek ileri imalat teknolojilerinde kullanılan Computer Aided Design (CAD) ve Computer Aided Manufacturing (CAM) yazılımları ile işletmeler rakiplerine karşı avantaj elde etmektedirler [2].

İmalat endüstrisinin temel makineleri olan takım tezgahları bilgisayarlarla kontrol edilmesiyle CNC (Computer Numerical Control) adı verilen tezgahlar kullanılmaya başlanmıştır. 1950'lerden itibaren kullanılan, CNC takım tezgahları donanım, yazılım bileşenleri ve sürekli gelişen bilgi teknolojileriyle hızla desteklenmektedir. Bu bağlamda ileri imalata olanak sağlayan CNC takım tezgahları gelişmeye açık modern bir teknoloji haline gelmiştir.

Günümüzde imalat endüstrisinde çok eksenli olarak kontrol edilebilen ve çoklu işlem yapabilen, işlevsel ve donanımsal olarak hata teşhisine olanak tanıyan ve algılayıcılar yardımıyla anlık izlenme yeteneklerine sahip gelişmiş CNC makineleri kullanılmaktadır. Amacı ham madde halinde bulunan bir malzemeyi talaş kaldırma işlemleriyle ürüne dönüştürmek olan bu makineler, üzerindeki panel veya bağlı olduğu bilgisayarda çalışan bir CAM yazılımıyla tasarlanan geometriye bağlı olarak, belirlenen hazırlık (G) ve yardımcı komutların (M) kullanıldığı program üzerinden kesme, ilerleme gibi işlemleri gerçekleştirebilmektedir [3].

Yeteneklerine göre bir veya birden fazla kesme aleti kullanılabilen CNC tezgahlarda, istenilen ürünü imal edebilmek için torna, freze, delme, taşlama gibi işlemler yapılarak talaşlı imalat gerçekleştirilmektedir. Talaşlı imalat işlemleriyle hammadde üzerinden talaş kaldırılması sırasında aşırı gerilme ve sıcaklık etkisiyle kesici takım üzerinde ve iş parçası yüzey kalitesinde bir takım fiziksel olumsuzluklar söz konusu olabilmektedir. Ayrıca kesici takım üzerindeki deformasyon sonucu oluşan aşınma ve şekil değişiklikleri takım ömrünü azaltarak üretim maliyetlerini arttırmaktadır. Bu nedenlerle takım ve tezgah ömrünü negatif etkileyen faktörlere karşı tedbirlerin alınması gerekmektedir. Bu tedbirler arasında tezgah sistemi ve kesici takım durumlarının algılayıcılar yardımıyla anlık olarak izlenmesi yer almaktadır. CNC tezgahlarda, motorlara (iş mili ve eksen motorları) ve kesici takımlara bağlı algılayıcılar yardımıyla Durum İzleme Sistemleri geliştirilmekte ve izlenebilmektedir [4].

Durum İzleme Sistemleri, bir endüstriyel sistemden anlık ve sürekli olarak alınan verilerin yorumlanarak istemcilere sunulmasını sağlayan sistemlerdir. Herhangi bir sistemden gerçek zamanlı ölçülen veriler, sistemin çalışması hakkında genel bir fikir verebilmektedir. Sistemden alınan verilerin anlık olarak izlenmesiyle meydana gelebilecek hataların erken tespiti endüstriyel süreçlerin ekonomik ve güvenli sürekliliği bakımından son derece önemlidir. Durum İzleme Sistemlerinde verinin elde edilmesi ve istemcilere sunulmasında garanti edilen tepki zamanı, bant genişliği, örnekleme frekansı, duyarlılık, çözünürlük, haberleşme hızı ve yazılım algoritmaları gibi parametreler izlenen sistemin performansıyla doğrudan ilgilidir [5]. Bu teknikle tasarlanan gerçek zamanlı Durum İzleme Sistemleri enerji, ulaşım, havacılık gibi

birçok alanda arıza tespiti, sinyal işleme ve bakım yönetimi gibi süreçlerde kullanılmaktadır. Durum İzleme Sistemleri, sistemin anlık kontrolünü destekler ve izlenebilirliğini sağlar. Belirlenen tepki zamanlarına bağlı olarak verileri elde eder ve bu işlemleri kesintisiz garanti altına alır. Bu sistemler kontrol, otomatik kontrol ve durum izleme ihtiyaçlarına bağlı olarak, donanımlar üzerinde yürütülen özel ve genel yazılımlar aracılığıyla kullanılabilir [6-10].

İleri imalat endüstrisinde üretimin temelini oluşturan CNC tezgahlarda uygulanan Durum İzleme Sistemleri kesici takımların ve makinenin çalışma karakteristiklerinin gerçek zamanlı izlenmesi ve bu sayede oluşabilecek hata, arıza, bakım ihtiyaçlarının tahmini ve üretimin analiz edilmesini amaçlayan bir teknik olarak tanımlanabilir [11].

Düşük maliyet ve imalatın iyileştirilmesi için artan talepler ayrıca potansiyel arızaların tespitindeki etkili rolü sayesinde Durum İzleme Sistemleri önemli bir bileşen haline gelmiştir. İmalat işlemlerinde gelişmiş bir anlık Durum İzleme Sistemi kullanılması makine ekipmanlarının optimum kullanımını ve istenmeyen durumların önlenmesine olanak sağlamaktadır [12].

Kesici takımların aşınması, kırılması ve kalan kullanım ömrünün tespitiyle ilgili algılayıcı ve algılayıcı Durum İzleme Sistem yaklaşimleri kabul görmektedir. Algılayıcı tabanlı bir Durum İzleme Sisteminde kesme kuvvetleri için çok kanallı dinamometreler, titreşim için çok kanallı ivmeölçerler, sıcaklık için termal algılayıcılar, işlem sırasında duyulan ses için ise yüksek frekanslı ses veya akustik emisyon ölçüm algılayıcıları, motor akımı ölçümü için ise akım algılayıcıları kullanılmaktadır. Algılayıcı Durum İzleme Sistemleri, izlenebilir çıkışa sahip dâhili ünitelerin verilerini kullanılmaktadır. Esas olarak dâhili tahrik ünitesi sinyallerinin ölçülmesi dayanmaktadır. Birden fazla algılayıcı verileri kullanılarak birleşik ölçüm gerçekleştirmek de mümkün olmaktadır [13].

Takım tezgahlarında iş mili ve eksen hareketlerini sağlayan motorların kontrolü imalat için önemlidir. İleri imalat teknolojilerinde işlemler, bilgisayar destekli imalat yazılımlarıyla hazırlanan program üzerinden anlık olarak yürütülmektedir. İş mili

motorları, talaş kaldırmak için delme, frezeleme, taşlama ya da iş parçasının dönmesini sağlamaktadır [14].

Bu tez çalışmasında geleneksel bir torna tezgâhı, eksen hareketlerinde adım motorlar kullanılarak, yazılım ve mikrodenetleyicilerle CNC tezgâha dönüştürülmüştür. Tezgahın sabit miknatıslı fırçalı DA iş mili motorundan, algılayıcılar yardımıyla alınan devir sayısı ve akım verilerini gerçek zamanlı olarak izlemek, gerçekleştirilen imalatları kaydetmek ve raporlamak, ayrıca tezgah üzerindeki tüm operasyonları yönetebilmek amacıyla grafiksel ara yüze sahip tümleşik Durum İzleme Sistemi ve tezgah denetim yazılımı geliştirilmiştir. Yazılıma ek olarak daha kaliteli ve güvenli bir imalatın gerçekleştirilebilmesi için; CNC tezgahta işlenecek parçalara ait malzeme veri tabanı oluşturularak, seçilen malzeme ve kesici takım parametre değerlerine göre, kullanıcıya kesme hızı ve devir sayısı imalat bilgilerini sunan uzman sistem bir malzeme yazılım da entegre edilmiştir. Talaş kaldırma süresince iş mili motoruna devir sayısını sabitlemek amacıyla, PID ve BM denetleyicilerle hız denetimi uygulanmıştır. Hız denetimlerinin yüzey pürüzlülüğü ve enerji tüketimi performansına etkileri deneysel olarak incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmalar alüminyum alaşımlı malzeme kullanılarak, beş farklı kesme hızında (200, 260, 320, 380, 440 m/dk), üç farklı ilerleme hızında (0,05, 0,1, 0,15 mm/dev), sabit kesme derinliğinde (0,5 mm) ve Böhler TCGT 16T308-270 kodlu kesici takımla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca karmaşık geometriye sahip bir alüminyum alaşımlı malzeme üzerinde VCGT 160408 kesici takımı kullanılarak, PID ve BM hız denetleyiciler ile işleme deneyleri yapılmış, devir sayısı, akım ve güç verilerine ilişkin analizler gerçekleştirilmiştir.

Tezin ilk bölümünde, konunun tanıtımı ve kullanılan yöntemler verilmektedir. İkinci bölümde literatür taramasına yer verilmektedir. Tezin üçüncü bölümünde, CNC tezgahlar hakkında genel bilgiler, kullanılan tahrik motorları ve Durum İzleme Sistemleri hakkında genel bilgiler verilmektedir. Tezin dördüncü bölümünde, materyal ve metod başlığı altında, sisteme ait mekanik, elektronik ve yazılım materyalleri hakkında ayrıntılı bilgiler sunulmaktadır. Ayrıca bu bölümde tezgah sisteminde yer alan tüm yazılımlara ait bilgiler de verilmektedir. Tezin beşinci bölümünde gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ve bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar sunulmaktadır. Altıncı bölümde ise sonuçlar ve değerlendirme verilmektedir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR TARAMASI

Yüksek hızda işleme gerçekleştirebilen sistemlerde, sistemi oluşturan donanım birimlerinin sürekli ve gerçek zamanlı olarak izlenmesi ve alınan verilerin yorumlanarak istemcilere sunulması, imalat sırasındaki donanım tepkilerinin ve imalatın analiz edilebilmesi açısından önemli bir rol oynamaktadır. İmalat endüstrisinde algılayıcı sistemlerini aktif olarak kullanan izleme sistemleri gerçek zamanlı sistem denetimi uygulamalarıyla birlikte çalışabilmektedir. CNC destekli tezgahlarda imalatı olumsuz etkileyebilecek durumların mümkün olduğunca en kısa sürede tanımlanması, verimin ve kalitenin artırılması üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Ayrıca gelişen yazılım teknolojilerine bağlı olarak anlık uzaktan denetim ve Durum İzleme ihtiyaçları için web tabanlı sistemler üzerine yapılan çalışmalar sistem izlenebilirliğine ve denetimine katkı sağlamaktadır.

Camacho ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada, sistem takım aşınmalarını tespit etmede; kesme kuvvetleri, akustik emisyon, titreşim ve motor akımı yaklaşımları belirtilerek, takım durumu izleme işlemi sırasında akım sinyallerinin iş mili motor sürücüsü üzerinden izlenebilirliğine yer verilmektedir [15].

Lihui Wang ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada, uzaktan imalat için gerçek zamanlı Java programlama dili ile kodlanmış web tabanlı Durum İzleme Sistemi geliştirerek, eksenlere ait pozisyon bilgileri ile iş mili motoru ve ilerleme hız bilgilerini kullanan sinyal toplayıcı birimi tasarlanmış ve sunucu üzerinden istemcilerle haberleştirilmesi gerçekleştirilmektedir [16].

Pan ve arkadaşlarının çalışmasında, algılayıcıları kullanarak, sinyal analizi ve örüntü tanıma amaçlı veri toplama sistemi üzerinden haberleşen C++ diliyle uzak Durum İzleme Sistemi geliştirilerek; veri toplama, sinyal işleme, özellik çıkarımı, yapay sinir

ağları aracılığıyla örüntü tanıma ve çevrimiçi video izleme dâhil olmak üzere bir izleme sistemi sunulmaktadır [17].

Romero ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada, takım aşınmaları ve kırılmalara yönelik freze tezgah üzerinde etkin bir şekilde akım ve kesme kuvvetleri sinyallerini denetleyen algılayıcısız sistem yaklaşımına yer verilmektedir [18].

Işık'ın yapmış olduğu çalışmada, imalatta kesici takımların durumlarının izlenmesi ve kırılma anının tahmin edilebilmesi için literatürde geliştirilen modeller ifade edilerek, takım durumu izlemede kullanılan doğrudan ve dolaylı ölçme yöntemlerinin özellikleri sunulmuştur. Ayrıca takım durumu izlemede kullanılan algılayıcılar ve kullanılan yöntemler de karşılaştırılmaktadır [19].

Szecsı'nın yapmış olduğu çalışmada, devir sayısı algılayıcısı, kesici alet dokunma algılayıcısı ve çeşitli filtreler kullanarak CNC torna tezgahları için kişisel bir bilgisayar üzerinde çalışan iş mili DA motoru akımının ölçülmesine dayalı Takım Durumu İzleme sistemine yer verilerek, insansız imalat ortamında da kullanılabilmesi amacıyla Durum İzleme Sisteminin genetik algoritma tabanlı bulanık kural seti tarafından eğitilme yaklaşımı sunulmaktadır [20].

Shi ve Nabil'in çalışmasında, kuvvet, yüzey gerilim, ivme gibi algılayıcı sinyallerini kullanarak, dalgacık dönüşümüyle sinyal analizi ve arıza tespiti çevrimiçi Durum İzleme Sistemine yer verilmektedir [21].

Liang ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada, freze ve torna tezgahlarda uygulanabilen bulanık mantık tabanlı bir denetleyici ve kural tabanına bağlı olarak belirlenen referans tork değerlerine göre CNC tezgah iş mili motorunun denetimi gerçekleştirilerek, kesme derinliği ve takım değiştirme varyasyonlarına karşı performanslar değerlendirilmektedir [22].

Grigoriev ve Georgi'nin yapmış olduğu çalışmada, platformdan bağımsız olarak kütüphanelerle taşınabilir, çok eksenli takım tezgahları ve atölye uygulamalarını kolaylaştırmak için CNC kernel tasarımına yer verilmektedir. Çalışmada bir kontrol

sistemi için önemli gereksinimler belirtilerek, kontrol sisteminin uygulama basamakları açıklanmıştır. Soyutlama seviyelerinde CNC sistem mimarisinde servo sürücülerin ve Programmable Logic Controller (PLC) elektronik donanımlarının uygulanmasına yönelik bilgiler sunulmaktadır [23].

Ertunç ve Sevim'in yapmış olduğu çalışmada, kesici takımlardaki ve özellikle de matkap ucundaki, kesme işlemi sırasında meydana gelen aşınma mekanizmaları incelenmektedir. Çalışmada matkap ucunun aşınmasının gözlenmesi üzerine yapılan çalışmalar tanıtılmış, kullanılan doğrudan ve dolaylı ölçme teknikleri ile algılayıcıların füzyonu konusundaki çalışmalar özetlenmiştir. Ayrıca algılayıcı sinyallerine göre kesici takımın aşınma safhasını belirlemede önerilen metotlara da yer verilmektedir [24].

Mendi ve Külekçi'nin yapmış olduğu çalışmada, programlanabilir tezgahların maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle eldeki klasik tezgahların PLC ile yönetilebilir hale dönüştürülmesine yönelik önerilerde bulunmaktadır. Bu amaçla çalışmalarında pres tezgahlarında kullanılan denetim ve otomasyon elemanları irdelenmektedir [25].

Peközcan'ın yapmış olduğu çalışmada, geleneksel bir torna tezgahının bilgisayar destekli hale dönüştürülmesine yer verilmektedir. Çalışmada iş mili motoru olarak DA ve eksen hareketleri için adım motorlar kullanılmaktadır. DA iş mili motorunun devir sayısı bilgisi enkoderle ölçülerek denetim birimine iletilmiştir. Ayrıca çalışmada tezgahın dinamik duyarlılığının hesaplanmasına da yer verilmektedir [26].

Karaoğlan ve Zeyveli'nin yaptıkları çalışmada, geleneksel bir torna tezgahı; gerçek zamanlı çalışan bilgisayar ve gömülü sistem yazılımlarıyla bilgisayar destekli hale dönüştürülerek, ara yüz yazılımları ile denetlenmektedir. Tezgah sistemi için hazırlanan elektronik devre tasarımlarıyla, operatöre bilgisayarsız olarak manuel çalışma imkânı da sağlanmaktadır [27].

Zeyveli ve Karaoğlan'ın yaptıkları çalışmada, bir CNC torna tezgahı üzerinde imalat işlemi süresince eksen ve iş mili motorlarının gerçek zamanlı olarak denetlenmesi ve

devir sayısı ve akım algılayıcılarına ait verilerin anlık olarak izlenebilmesini sağlayan Durum İzleme Sistemi yazılımına yer verilmektedir [28].

Demir ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada, üç eksenli mini CNC freze tezgahın tasarımı ve eksen hareketlerini sağlayan adım motorların kontrolünün bir denetleyici kart üzerinden gerçekleştirilmesine yer verilmektedir [29].

Polat'ın yapmış olduğu çalışmada, tezgahların kontrol edilebilirliğinin artırılması için eksen hareketlerini adım motorlarla sağlayan klasik bir NC (Numeric Control) freze tezgahın, tezgah sistemi ile paralel port üzerinden haberleşen Basic programlama diliyle hazırlanmış kontrol yazılımıyla, bilgisayar destekli hale dönüştürülmesine yer verilmektedir [30].

Pişkin'in yapmış olduğu çalışmada, eski bir klasik takım tezgahını, daha fonksiyonel ve hassas duruma getirmek için bilgisayarlı nümerik kontrollü bir tezgahın tasarımına yer verilmektedir. Ayrıca bilgisayar destekli NC takım tezgahının hassas kızak yapısı tasarımı sırasında, göz önüne alınması gereken unsurlar da açıklanmaktadır [31].

Uyanık ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada, 3 eksenli bir NC freze tezgahı, denetleyici ve sürücü üniteleriyle yeniden yapılandırılmaktadır. Çalışmada yüzey üzerindeki doğrusal ve dairesel interpolasyon hareketleri için bir eksen sürücü algoritması geliştirilerek, görsel, nesne tabanlı ve G kodlarıyla çalışan parça işleme yazılımına yer verilmektedir [32].

Büyükşahin'in yapmış olduğu çalışmada, yeni bir üç eksenli CNC freze tezgahı tasarımına yer verilerek, tasarlanan tezgah üzerine binen kuvvet ve momentlerin eksenlere etkileri kontrol edilmektedir. Eksen hareketleri için uygun motorların seçimi yapılarak, yüklere göre donanım birimlerinin rijitlikleri ve kullanılan servo motorların güçleri hesaplanmaktadır [33].

Zeyveli ve Gülesin'in yapmış olduğu çalışmada, çok pasolu frezeleme işlemlerinde, maksimum üretim oranı ve minimum maliyet kriterlerini sağlayacak, takım ömrüne yönelik optimum işleme parametrelerinin seçimini yapan bir bilgisayar programı

geliştirilerek, kesme hızı, ilerleme hızı, talaş derinliği ve paso sayısı gibi önemli işleme parametrelerinin optimizasyonu gerçekleştirilmektedir [34].

Keleş ve arkadaşları çalışmalarında, universal bir torna tezgahında, karmaşık profilleri işleyebilen, hidrolik tahrikli ve bilgisayar kontrollü bir sisteme ve yazılıma yer verilmektedir. Çalışmada veri toplama birimi ve denetleyici karttan oluşan elektronik bir sistem tezgaha monte edilerek, pirinç ve alüminyum malzemeler üzerinde karmaşık profillerin işlenebilirliği açıklanmaktadır [35].

Bu tez çalışmasında ise geleneksel bir torna tezgahı eksen motorları ve mikrodenetleyiciler yardımıyla bilgisayar destekli hale dönüştürülmüştür. Tezgah üzerinde gerçekleştirilen tüm imalat işlemlerinin yürütülmesi için; grafiksel ara yüze sahip gerçek zamanlı tezgah denetimi yazılımı hazırlanmıştır. Tezgah denetimi yazılımıyla eş zamanlı olarak çalışan mikrodenetleyici üzerinde gömülü PID ve BM hız denetimi yazılımlarıyla, iş mili motorunun devir sayısının, talaş kaldırma süresince sabit tutulması sağlanmıştır. Talaş kaldırma süresince iş mili motoruna uygulanan PID ve BM yöntemlerinin işlenen malzemeye ilişkin devir sayısı, akım, güç, enerji tüketimi ve pürüzlülük etkilerini gözlemlemek ve karşılaştırmak amacıyla deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Literatüre talaşlı imalat işlemlerinde uygulanabilir bir yöntem önerilmiştir. Ayrıca iş mili motorunun devir sayısı ve akım verilerinin gerçek zamanlı olarak izlenebilmesi için, tezgah denetimi yazılımıyla entegre olarak çalışan, algılayıcı tabanlı Durum İzleme Sistemi yazılımı da geliştirilmiştir.

Geliştirilen sisteme, geçmişe yönelik imalatların analizlerinin yapılabilmesi amacıyla; tezgahta gerçekleşen işlemler sırasında alınan tüm algılayıcı verilerinin veri tabanında kaydedilmesi sağlanmıştır. Ayrıca daha kaliteli ve güvenli bir imalatların gerçekleştirilebilmesi için; CNC tezgahta işlenecek parçalara ait malzeme veri tabanı oluşturularak, seçilen malzeme ve kesici takım parametre değerlerine göre, kullanıcıya kesme hızı ve devir sayısı katalog imalat bilgilerini sunan uzman sistem bir malzeme yazılımı da eklenmiştir.

BÖLÜM 3

CNC TEZGAHLAR VE DURUM İZLEME SİSTEMLERİ

3.1. CNC TEZGAHLAR, TEZGAH İŞLEMLERİ VE TAHRIK MOTORLARI HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Hammadde halinde bulunan bir malzemeyi, belirli bir şekile dönüştürmeyi amaçlayan talaşlı imalat işlemleri, sanayi devriminden sonra beden gücü yerine makineler tarafından yapılmaya başlanmıştır. NC yaklaşımı II. Dünya savaşının sonlarında Amerika Birleşik Devletleri hava kuvvetlerinin ihtiyacı olan karmaşık uçak parçalarının üretimi için ortaya atılmıştır. Karmaşık parçaların üretilmesine, 1952 yılında, Parsons Corporation ve Massachusetts Institute of Technology (MIT) kuruluşlarının ortak çalışmalarıyla başlanmıştır. İlk olarak bir Cincinnati-Hydratel freze tezgahının NC destekli kullanımı gerçekleştirilmiştir. NC takım tezgahlarında sık tamir ve yenileme gerektiren vakumlu tüpler, elektrik röleler ve karmaşık kontrol ara yüzleri yerine daha kullanışlı ve dayanıklı entegre devreler kullanılmaya başlanmıştır. Hızla gelişen bilişim teknolojileriyle, programların hafızada saklanmasına olanak sağlayan Read Only Memory (ROM) kartları, tezgahlarda kullanılmaya başlanmış ve CNC tezgah teknolojisinin imalat endüstrisinde yer almasına öncülük etmiştir [36].

CNC kavramı; tezgahın çalıştırılmasının, durdurulmasının, takımların değiştirilmesinin, eksen hareketlerinin denetiminin ve imalatın yürütülmesine ilişkin bütün operasyonların bilgisayara bağlı denetleyici birim üzerinden otomatik olarak gerçekleştirildiği tezgah olarak ifade edilmektedir. Denetleyici ünitelerde bulunan yüklü programda, tezgah hareketlerini gerçekleştirmek amacıyla, imalat algoritmasına uygun olarak G ve M kodlarıyla yazılmış komut kümesi yazılımı kullanılmaktadır. Şekil 3.1’de CNC tezgahların genel çalışma prensibi verilmektedir.

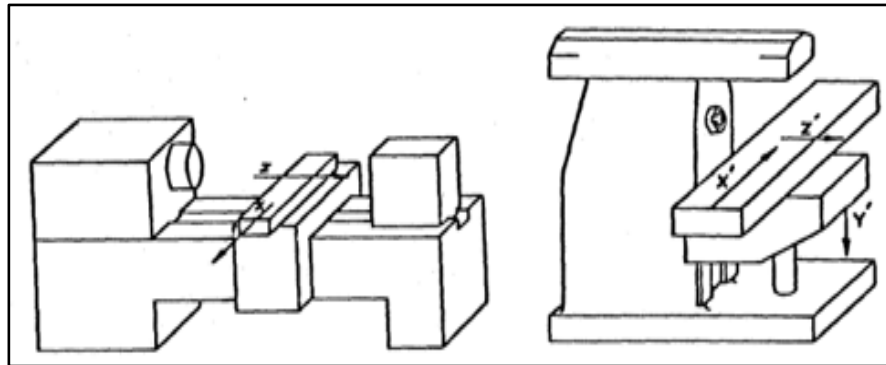


Şekil 3.1. CNC tezgahlar genel çalışma prensibi.

CNC tezgahların ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olmasına rağmen, seri ve hassas üretime uygunluğu, ucuz ve kaliteli üretime olanak sağlaması, benzetim yazılımları ile hataların önceden tespit edilebilmesi, karmaşık parçaların üretiminin kolay gerçekleştirilebilmesi, insan faktörünün üretimde fazla yer almaması ve tezgahın bir hafızaya sahip olması, bu sistemlerin belirgin avantajları olarak gösterilmektedir [37].

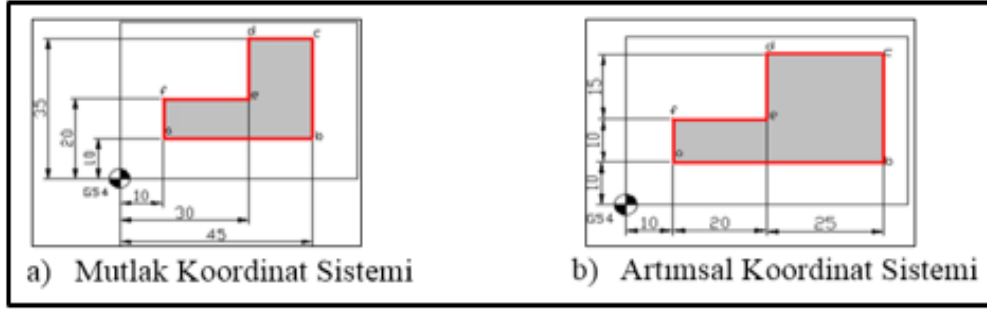
3.1.1. CNC Tezgahlarda Kullanılan Koordinat Sistemleri

CAD programlarında ve NC bir program yazarken, üretilmek istenen parçaya ilişkin koordinat noktaları belirtmek gerekmektedir. Bu koordinatlara ait yönler, torna ve freze tezgahlar için Şekil 3.2’de verilmektedir. Bir tezgahın hareket elemanlarının hareket yönlerine eksen adı verilmektedir. Torna tezgahlarda Z ekseni ana milin hareket yönünü, X ekseni ise yatay ve tablaya bağlanmış parçaya paralel durumu ifade etmektedir [37].



Şekil 3.2. Torna ve freze tezgahları için eksenler.

CNC tezgahlarda, tezgah kontrol ünitesi tarafından okunan komutların icrası için gerekli ana ve ilerleme hareketleri tezgah üzerindeki hareket elemanları olan motorlar yardımıyla yapılmaktadır. Tezgahlarda parça programlama için mutlak (absolute) ve artımsal (incremental) koordinat sistemleri kullanılmaktadır. Mutlak koordinat sisteminde; parça programlamada kullanılan koordinat değerleri belirli bir noktaya göre belirlenmektedir ve bu nokta genelde orijin noktasıdır (0,0). Artımsal koordinat sisteminde ise; tüm ölçü değerleri bir önceki koordinat değerini orijin noktası kabul edilerek hesaplanmaktadır. Şekil 3.3'te mutlak ve artımsal koordinat sistemleri verilmektedir.



Şekil 3.3. Tezgahlarda kullanılan koordinat sistemleri.

3.1.2. CNC Torna Tezgahları

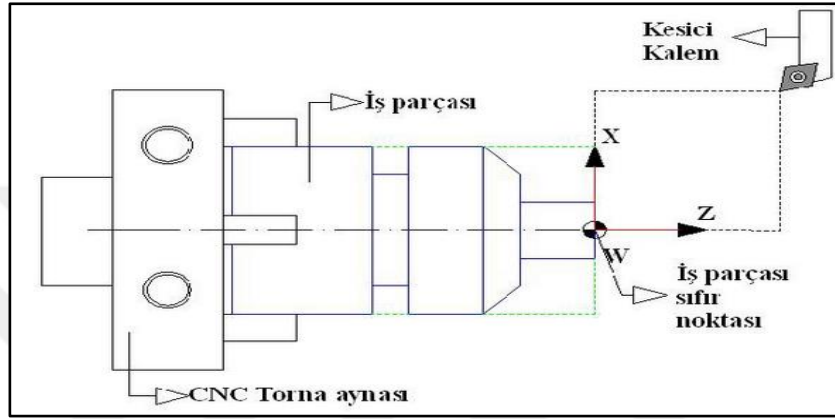
CNC torna tezgahları silindirik parçaları işlemek için iş parçasının döndüğü ve kesicinin ilerleyerek parçadan talaş kaldırdığı, araba hareketinin bilyeli vida, servo veya adım motor sistemi ile kontrol edildiği, kesici ve ayna hareketlerinin bilgisayarla kontrol edilebildiği tezgahlardır. Şekil 3.4' te örnek bir CNC torna tezgahı verilmektedir.



Şekil 3.4. Örnek bir CNC torna tezgahı.

3.1.2.1. Tornalama İşlemi

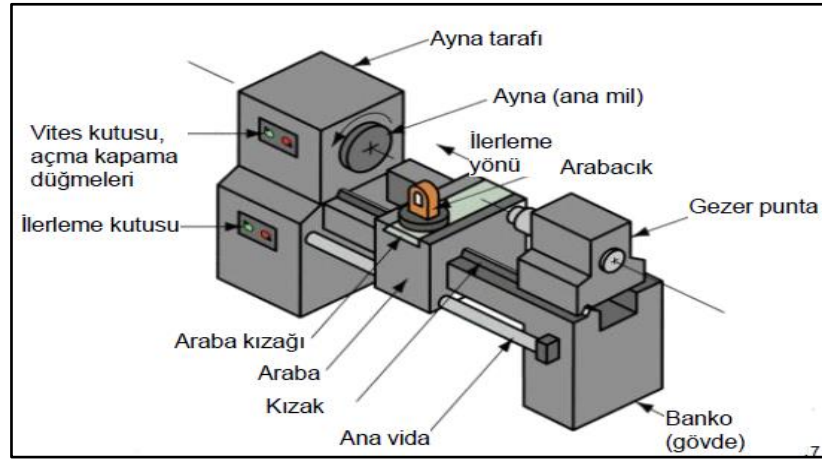
Bir eksen etrafında dönen iş parçalarını, kesici bir takımla talaş kaldırmak suretiyle silindir elde etme işlemine tornalama denir. Bir torna tezgahı boyunca, alın, pah kırma, kanal açma, ayırma ve diş açma tornalama işlem yeteneklerine sahiptir [38]. Şekil 3.5'te tornalama işlemini gösteren bir çizim verilmektedir.



Şekil 3.5. Tornalama işlemi.

3.1.2.2. CNC Torna Tezgahı Temel Kısımları

Bir CNC torna tezgahında gövde, kızak, ana mil, araba, kalemlik, sabit ve gezer punta, kontrol paneli ve bilgisayar gibi önemli kısımlar bulunmaktadır. Şekil 3.6' da bir torna tezgahına ait önemli kısımlar verilmektedir.



Şekil 3.6. Geleneksel bir torna tezgahının kısımlarına ilişkin görüntü.

Bu kısımlardan ilerleme kutusu; iş parçasının bağlandığı torna aynasını üzerinde taşıyan ve ana motordan aldığı dönme hareketiyle iş parçasını döndüren kısımdır. Bu kısımda tezgahın devir sayısının ayarlanmasına yarayan dişli çarklar gurubunun oluşturduğu hız kutusu da bulunur. Şekil 3.7' de çalışmamızda yer alan CNC torna tezgahına ait hız kutusu verilmektedir.



Şekil 3.7. Tezgah hız kutusu görüntüsü.

Kontrol ünitesi genel olarak bilgisayar üzerindeki yazılım ara yüzü veya sistem üzerindeki ekran tuş takımı, ana işlem kartı, eksen kartları ve diğer birçok elektronik devre elemanlarında oluşmaktadır. İş mili motoru ve eksen motorlarının NC programına bağlı olarak hareketlerinin yürütülmesi kontrol ünitesindeki mikrodenetleyici üzerinden sağlanmaktadır. CNC tezgahların uzun süre kullanılabilmesi için kontrol yazılımları değiştirilerek, tezgahın güncelleştirilmesi sağlanabilmektedir.

3.1.2.3. Torna Tezgahlarda Devir Sayısı, Kesme ve İlerleme Hızı Hesaplamaları

Devir sayısı değeri; kesme hızı ve iş parçasının çapına bağlıdır. Kesme hızı değeri torna kaleminin iş parçası üzerinde bir dakikada kaldırdığı talaşın metre cinsinden uzunluğudur. Bu uzunluk, işlenecek malzemenin cinsine, kesici takım malzemesinin cinsine, tezgahın gücüne, talaş derinliğine, işlemenin tipine ve ilerleme miktarına bağlıdır. Devir sayısı (S) değeri, iş parçası çapı (D) ve ilerleme hızı (F) parametre değerleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Devir sayısının hesaplanması için başvurulan matematiksel ifade Eşitlik 3.1'de verilmektedir.

$$S = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \quad (3.1)$$

Burada;

V= Kesme Hızı (m/dk)

S= Devir Sayısı (dev/dk)

D= İş Parçası Çapı (mm)

İlerleme hızı (mm/dk) değeri ise; kesici uç malzemesi ve geometrisi seçildikten sonra katalogdaki değerler referans alınarak, katalog ilerleme değeri (mm/dk) ve devir sayısı (dev/dk) parametre değerleri kullanılarak hesaplanmaktadır [39]. İlerleme hızının hesaplanması için kullanılan matematiksel ifade Eşitlik 3.2'de verilmektedir.

$$F = f \cdot S \quad (3.2)$$

Burada;

F: İlerleme hızı (mm/dk)

f : Katalog ilerleme değeri (mm/dk)

S: Devir sayısı (dev/dk)

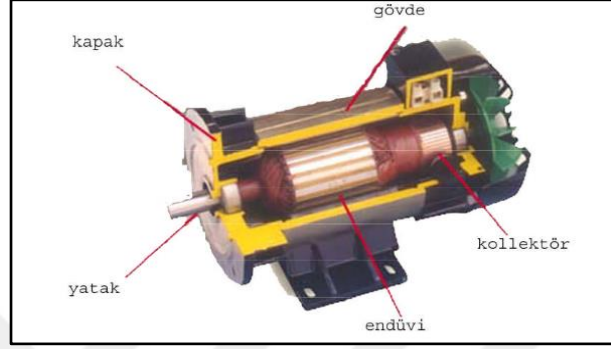
3.1.2. CNC Tezgahlarda Kullanılan Tahrik Motorları

Motorlar elektrik enerjisinden üretilen elektromanyetik alanı kullanarak mekanik hareket elde eden cihazlardır. Elektrik motorları kullandıkları gerilim türleri bakımından, alternatif akım (AA) ve doğru akım (DA) olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. [40]. Takım tezgahlarının iş mili veya iş parçasının hareketini sağlayan kızakların tahriklerinde AA veya DA motorlar kullanılmaktadır [42]. Bu çalışmada dijital denetimde kolaylığına ve motor sürücülerinin mikroişlemci ünite tarafından kullanımına yatkınlığından dolayı iş mili motoru olarak Sabit Miknatıslı Fırçalı DA motor, eksen hareketleri için ise adım motorlar kullanılmaktadır.

3.1.2.1. DA Motorları

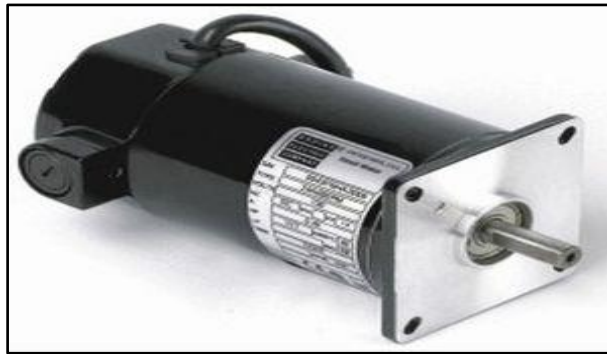
DA motorları, doğru akım elektrik enerjisini dairesel mekanik enerjiye dönüştüren elektrik makineleridir. Manyetik alan içinde kalmış bir iletken tel üzerinden akım

geçişi sonucu iletken tel üzerinden elde edilen hareket enerjisi prensibine bağıdır. Manyetik alanın yönü veya iletken telden geçen akımın yönü değiştirilerek motorların dönüş yönü değiştirilmektedir [40]. Doğru akım motorları dönen kısım (endüvi), duran kısım (kutuplar), yatak, kapak, fırça ve kolektör kısımlarından oluşmaktadır [40]. Şekil 3.8’de doğru akım motorunun iç yapısı verilmektedir.



Şekil 3.8. Doğru akım motoru iç yapısı.

Fırça ve kolektör kullanılan motorlara fırçalı DA motor denir. Fırçalı DA motorlar gövdelerinde kullanılan manyetik alan kaynağına göre “Sabit Mıknatıslı Motor” ve “Elektro Mıknatıslı Motor” olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. DA motorları doğru akımla çalıştırıldığı gibi alternatif akımın diyotlu doğrultma devreleri, faz kontrollü doğrultucular (AA – DA dönüştürücü) ile doğru akıma dönüştürülmesiyle de çalıştırılabilmektedir. Ayrıca sabit doğru gerilimi ayarlanabilir doğru gerilime çeviren DA–DA dönüştürücülerle de çalıştırılabilmektedir [40]. Şekil 3.9’ da örnek fırçalı sabit mıknatıslı bir DA motoru verilmektedir.



Şekil 3.9. Fırçalı sabit mıknatıslı bir DA motoru.

3.1.2.2. DA Motoru Kontrolü

Doğru akım motorlarında devir sayısı, uygulanan gerilime ve ikazın şiddetine bağlıdır. Devir sayısı, motora verilen gerilimle doğru, ikaz şiddetiyle ters orantılıdır. Motorun devir sayısını artırma, ikaz akımının bir reosta ile azaltılmasıyla yapılır. Bu reostanın ayarı sabit tutulursa, endüvi akımı yüke bağlı olarak kendiliğinden değişim gösterir. Bu değişim, tezgah için gerekli olan güce göre olmaktadır. Uygulanan gerilim ve ikaz şiddetinin sabit kalmasından dolayı devir sayısı, yüke bağlı olmaksızın sabit kalır. Giriş gerilimi değiştirilerek istenilen değerde hıza ulaşılması ve sabit kesme hızı sağlanabildiğinden modern tezgahların çoğunda DA motoru kullanılmaktadır. DA motorlarının bir özelliği de motor momentinin devir sayısı arttıkça düşmesi ve böylece motor gücünün takriben sabit kalmasıdır [41-42].

3.1.2.3. Takım Tezgahlarında Kullanılan Diğer Motorlar

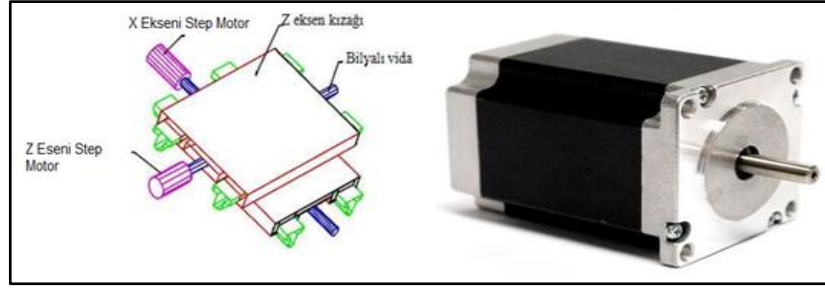
AA Motorlar

Takım tezgahlarında AA motorlardan genellikle asenkron özellikle de sincap kafesli motorlar kullanılmaktadır. Asenkron motorlar, diğer elektrik makinelerine göre daha ucuzdur ve bakıma daha az ihtiyaç duymaktadır. Günümüzde değişken tezgah iş mili hızlarını sağlayan özel tasarlanmış AA motorlarıyla çalışan takım tezgahları da mevcuttur [41].

Adım Motorlar

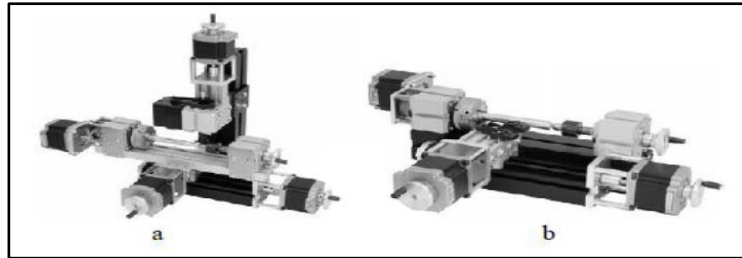
CNC takım tezgahlarında geleneksel olarak dönme hareketini saplamak için adım motorları ve takım hareketinin sağlanması için mekanizma olarak da bilyeli vidalı miller kullanılmaktadır. Adım motoru, açısal adım hareketleriyle kontrol edilmektedir. Bu motor tipi, elektrik darbeleriyle ardışık adımlarla dönme hareketi vermektedir [40].

Şekil 3.10'da örnek adım motor ve bu motorların torna tezgahlarda eksenlere uygulanmasını gösteren bir çizim verilmiştir.



Şekil 3.10. Adım motorların tezgaha bağlantısına ve kullanılan adım motora ilişkin görüntüler.

Adım motorlar, hassas konum denetimi yapmak amacıyla kullanılmaktadır. Robot yapımı ve kontrollü dönüş hareketi gerektiren uygulamalarda sıklıkla tercih edilen bir motor türüdür. Bu motorlar sargılarına uygulanan elektrik darbesine göre istenen miktarda dönme yapabilen motorlardır. Elektrik darbelerin verildiği lojik 1, verilmediği durum lojik sıfıt durumlarına göre çalıştığından bu motorlara dijital motor da denilmektedir. Mikroişlemci kontrollü sistemler tarafından kolayca sürülebilmektedir. Adım motorun dönmesi girişe uygulanan darbelerin sürekli ve sıralı olmasına bağlıdır. Doğru sırada uygulanan darbe, motoru bir adım ilerletir. Darbeler arasında geçen sürenin ayarlanması ile motorun hızı kontrol edilebilir [40]. Sayısal denetim sistemlerinde, CNC tezgahlarda, süreç denetim sistemlerinde, robot teknolojisinde ve uzay endüstrisine ait birçok sistemde adım motorları tahrik elemanı olarak yer almaktadır [40]. Şekil 3.11’de adım motorların freze ve torna tipi tezgahlarda genel bir uygulaması verilmektedir.



Şekil 3.11. Motorların bağlantı şekilleri; a) freze modeli, b) torna modeli.

Adım motoru seçiminde çözünürlük veya adım açısı, dönüş başına adım gibi parametreler önemli bir yer tutmaktadır. Çözünürlük; üretim sırasında belirlene bir devir sayısındaki adım sayısı veya derece cinsinde adım açısı olarak ifade

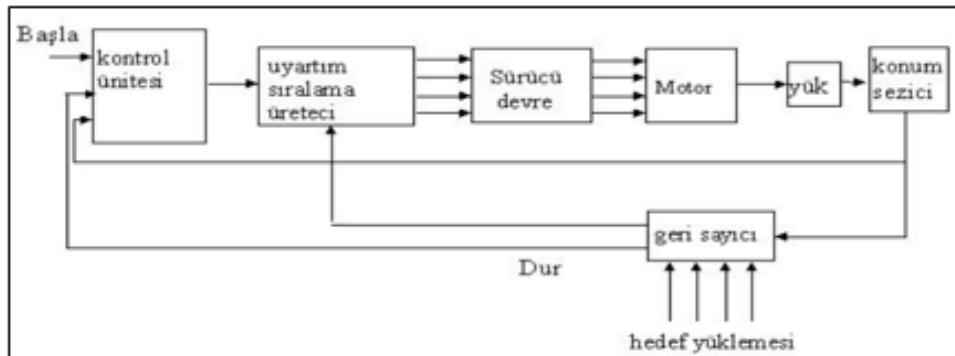
edilmektedir. Dönüş başına adım ise 360° 'lik tam bir tur için gerekli adım sayısıdır. 360° 'yi adım açısına bölerek bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında kullanılan adım motorları $1,8^\circ$ 'lik adım açısına sahip olup 200 adımda bir tam turu tamamlamaktadır.

Adım motorların avantajları şunlardır;

1. Mikrobilgisayar sistemleri ile kolayca kontrol edilebilirler. Geniş hız aralığı vardır. Dönme hızı programlama ile kontrol edilebilir.
2. Çalışma sırasındaki hızı gerilimdeki değişimlere bağlı olmadığı için sabit kalır. Verilen pozisyona kolayca getirilebilir.
3. Durdurulması ve çalıştırılması sırasında zaman gecikmesi yoktur.
4. İmalat maliyetleri düşüktür.

Adım motorların dezavantajları şunlardır;

1. Açık döngü denetimlerinde uyarım hızının çok yüksek olduğu durumlarda motor adım komutlarından bir kısmını yerine getirmeyebilir. Eksen hareketlerini sağlayan adım motorlarının konumsal doğrulukları garanti altına alınarak, kapalı döngü denetimle, anlık rotor konumu denetim birimine iletilmektedir. Her adım için bir önceki komutun adım verisi alınmaktadır. Bu sayede motor ve denetleyici arasında adım kaybı oluşmamaktadır [42]. Şekil 3.12'de adım motorların kapalı döngü denetimi verilmektedir.



Şekil 3.12. Adım motorların kapalı döngü denetimi blok şeması.

2. Adım adım çalıştıklarından darbeli çalışmaları dezavantajdır.

3.2. DURUM İZLEME SİSTEMLERİ

Üretim verimliliğinin artırılmasında; fiziksel ve insan kaynaklarının optimum kullanılması ve imalat tekniklerinin geliştirilmesi önemlidir. Bu amaçla ileri imalat endüstrisinde üretimin temelini oluşturan CNC tezgahlarda uygulanabilen Durum İzleme Sistemleri, imalat sistemine ait donanım birimlerinin hata, arıza, bakım ihtiyaçlarının tahmini ve üretimin analiz edilmesi açısından imalat sürecine katkı sağlayarak, izlenen donanımların çalışma karakteristiklerinin gerçek zamanlı takibini amaçlayan bir tekniktir. Durum İzleme Sistemleri en çok hata ve arıza tespiti alanında kullanılmaktadır [43].

Endüstriyel her alanda kullanılabilen Durum İzleme Sistemleri, periyodik bakımlar yerine anlık ve devamlı gözlenebilen sistem verilerinin izlenebilirliğini sağlayarak, karar verme algoritmalarının gerçek zamanlı uygulanması esasına dayanmaktadır [44].

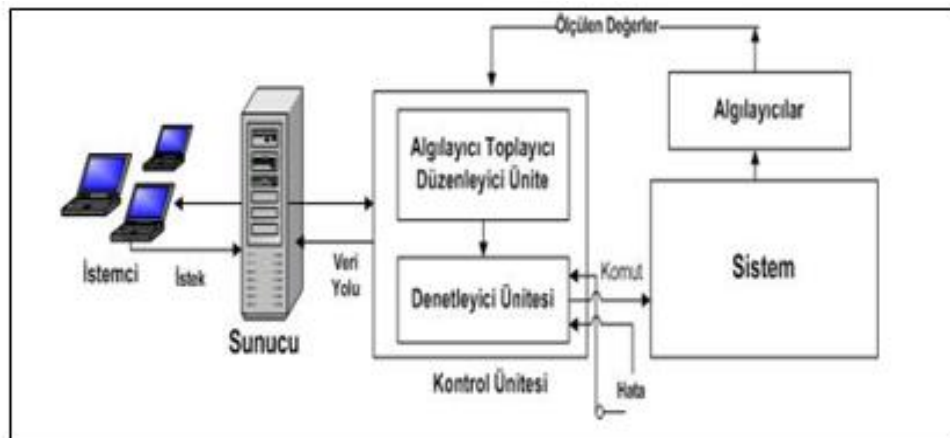
Geçmişte üreticiler ve kullanıcılar aşırı akım, gerilim, topraklama gibi arızalara karşı makinelerinin düzenli çalışması için basit koruma yöntemlerine güvenmekteydiler. Ancak makine yeteneklerinin teknolojiye bağlı olarak gelişmesi, sistemlerin büyümesini sağlayarak, karmaşıklığı arttırmıştır. Bu sebeple makinelerin çalışmasındaki kesintiler ve ağır olabilecek kayıpların önlenmesinde hata ve arıza teşhisi gibi yöntemler önemli hale gelmiştir. Elektrik makinalarında üzerinde sıkça durulan hata, arıza tespiti ve tahminine yönelik yöntemler, ürün kalitesini yükseltmek, bakım masraflarını azaltmak ve ani bir arızayı önlemek için Durum İzleme Sistemleri önemli işlevlere sahiptir.

Bir Durum İzleme Sistemi 4 ana faktörü kapsamı gerekmektedir. Bunlar;

1. Algılayıcılar: Bir elektrik sinyalini bir fiziksel bir nicel bir değere dönüştürmektedir. Algılayıcılar sayesinde tahrip edici hatalar meydana gelmeden saptanabilir değişiklikler ve başlangıç hataları izlenebilmektedir. Algılayıcıların seçimi izleme yöntemi ve makinenin arıza mekanizması bilgisine bağlı olarak seçilmelidir. Genel olarak, algılayıcılar on-line ölçüm hassasiyetine ve sisteme uygun olmalıdır.

2. Veri toplama. Bir veri toplama birimi algılayıcılardan gelen çıkış sinyallerinin güçlendirmesi ve ön işlemden geçirilmesi için kullanılmaktadır. Örneğin algılayıcı çıkışlarındaki tüm analog sinyallerin dijital sinyallere güvenilir bir şekilde dönüşümünde görev almaktadır. Bu birimde veri iletişim tekniklerine ve mikro bilgisayarlara ihtiyaç duyulabilmektedir.
3. Arıza tespiti: Amacı makinenin görünen bir başlangıç arıza varsa tespit etmektir. İkaz verebilir olması ve ileri analiz tekniklerinin uygulanabilir olması gerekmektedir. Arıza tespitinde başvurulan iki farklı yöntem vardır bunlar model-referans ve özellik çıkarma yöntemleridir. Eski tip matematiksel benzetim modelleri veya temeli yapay zekâ olan metotların tahminleri ile ölçüm sonuçlarını karşılaştırarak hatalarını tespit eder.
4. Tanı: Amacı tespit edilen anormal sinyallere göre sistem bakımı sağlıklı bir şekilde yönlendirecek uygun bir reçete çıkarmaktır. Günümüzde tanı sistemleri bilgisayarlar tarafından çevrimiçi ve otomatik olarak uygulanmaktadır [12].

Tipik bir Durum İzleme Sistemi Şekil 3.13'te verilmektedir. Ölçümü gerçekleştiren algılayıcılar, ölçülen değerleri toplayan ve düzenleyen ünite, denetleme ve olası hata ya da arıza durumlarını tespit eden, ileten denetleyici bileşenlerinden oluşmaktadır.



Şekil 3.13. Basit bir durum izleme sistemi blok şeması.

Algılayıcılar tarafından akım, sıcaklık, titreşim, ivme, kuvvet, devir, ses, basınç gibi ölçülen sinyal verileri, toplayıcı ve düzenleyici ünite tarafından mikrodenetleyici

ünitesine anlık olarak iletilmektedir. Denetleyici ünite üzerinden sunucu sistemine seri veya paralel iletişimle iletilen veriler sunucu üzerinde hazırlanan Durum İzleme Sisteminde yorumlanarak anlık izlenebilmektedir. Ayrıca elde edilen verilerin sunucu veya denetleyici sistemlerde yer alan karar verme algoritmalarında parametre olarak kullanılması sağlanmaktadır. Sunucu sistemi, verileri eş zamanlı olarak istemcilerle yayımlanarak çok kullanıcı ve dağıtık bir sistem hazırlayarak ve veri paylaşımı sağlanabilmektedir [5].



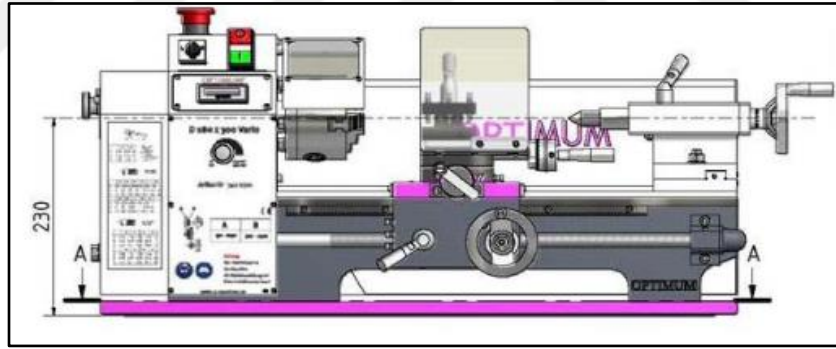
BÖLÜM 4

MATERYAL VE METOD

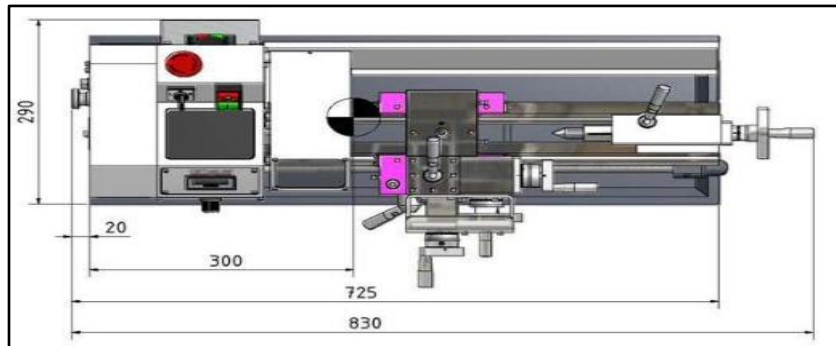
4.1. MATERYAL

4.1.1. Geleneksel Tezgaha Ait Teknik Bilgiler

Çalışmamızda geleneksel bir torna tezgah bilgisayar destekli hale getirilmiştir. Kullanılan tezgah Optimum D180x300 Vario Model olup, 55 kilo ağırlığa ve 830 x 425 x 360 mm boyut ölçülerine sahiptir. Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’ de tezgaha ait üst ve yan çizimler ve Çizelge 4.1.’de tezgaha ait teknik bilgiler verilmektedir.

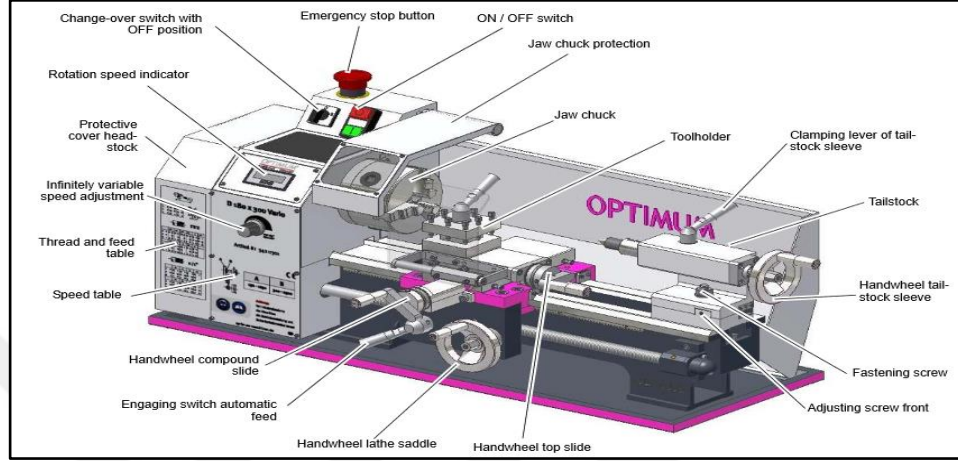


Şekil 4.1. Geleneksel torna tezgahı yan görünümü.



Şekil 4.2. Geleneksel torna tezgahı üst görünümü.

Tezghah üzerinde temel olarak açma kapama anahtarı, acil durdurma butonu, motor dönüş anahtarı, kademesiz hız ayarlama potansiyometresi, dönüş hızı göstergesi, X ve Z eksenleri için el çarkları, punta, takım tutucu donanımları bulunmaktadır. Şekil 4. 3’ te geleneksel tezghah üzerindeki kısımlar gösterilmektedir.



Şekil 4.3. Geleneksel torna tezghah üzerindeki donanım birimlerine ilişkin görüntü.

Çizelge 4.1. Geleneksel torna tezghahına ait teknik özellikler.

Model :	OPTIMUM D 180x300 VARIO TORNA
Motor Gücü:	600 W 230Volt - 50 Hz
Banko üzeri çap:	180 mm
Puntalar arası mesafe:	300 mm
Fener mili koniği:	MK3
Fener mili:	21 mm
Mil devir sayısı:	150-2,500 dev/dk
Kademe sayısı:	Sınırsız değişken
Çapraz suport hareketi:	55 mm
Enine suport hareketi:	75 mm
Gezer punto koniği:	MK2
Gezer punto mil hareketi:	65 mm
Boyuna ilerleme:	0.1-0.2 mm/dev
Metrik diş (11):	0.5-3 mm/dev
İnç diş (8):	44-10 diş/inç
Dört yollu kalemlik:	8 mm
UxGxY:	830x425x360 mm
Net ağırlık:	55 kg

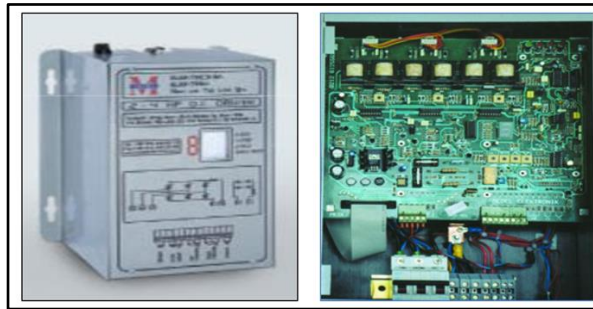
4.1.2. İş Mili Motoru Ve Sürücüsü

Tezgah üzerinde iş mili motoru (spindle) olarak 600 Watt güce sahip, dişli sistemi değişikliklerine göre 150-2500 dev/dk aralığında çalışabilen sabit mıknatıslı fırçalı DA motor bulunmaktadır. Kalkışta yüksek momentte çalışabilme avantajına sahip olan sabit mıknatıslı motorlarda uyarma sargıları yerine mıknatıs parçaları kullanılmaktadır. Şekil 4.4' te çalışmada yer alan iş mili motor verilmektedir.



Şekil 4.4. Tez çalışmasında kullanılan iş mili motor görüntüsü.

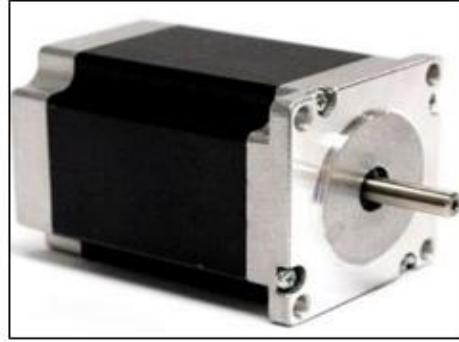
İş mili motorlarını sürebilmek için motora özgü iş mili motor sürücüleri kullanılmaktadır. Motorun istenen hızda dönmesi için sürücünün mikrodenetleyici tarafından anlık kontrolü sağlanabilmektedir. Çalışmamızda iş mili motorunun denetimi için 220 Volt şebeke gerilimi beslemeli, yüksek verimli, esnek kontrole imkan sağlayan Medel marka motor sürücüsü kullanılmıştır. Bu motor sürücüsü armatür gerilim değişimlerine göre sabit moment ve hız denetimi sağlamaktadır. Sürücü üzerindeki numerik ekran üzerinde cihaz ve motor ile ilgili çalışmaya hazır durumu, potansiyometre ile kontrol edilme durumu, ikaz durumu, faz kesilmesi ve aşırı akım durum bilgileri verilmektedir. İş mili motoru sürücüsüne ait dış ve devre kartı görüntüleri Şekil 4.5'te verilmektedir.



Şekil 4.5. İş mili motor sürücü ve devre kartı görüntüsü

4.1.3. Adım Motorlar Ve Sürücüleri

Doğrusal ve eğrisel tornalama işlemleri yapabilen CNC torna tezgahlarda yer alan X ve Z eksenlerinin hareketi; 2 adet Nema23 tipte 2.2. Nm'lik 200 adım hassasiyetine sahip adım motorlar kullanılarak sağlanmıştır. Kullanılan adım motor Şekil 4.6'da, teknik bilgiler ise Çizelge 4.2'de verilmektedir.



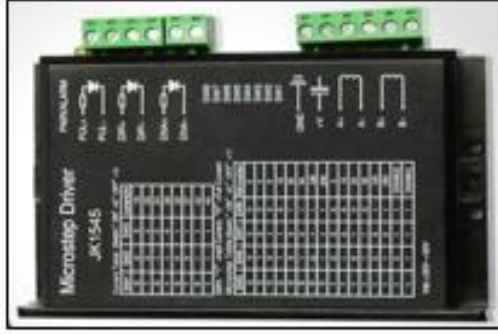
Şekil 4.6. Sistemde eksen hareketlerinde kullanılan Nema23 tipli adım motor.

Çizelge 4.2'de eksen hareketlerini sağlayan adım motorlara ait teknik özellikler verilmektedir.

Çizelge 4.2. Eksen hareketleri adım motorlarına ait teknik özellikler.

Adım Açısı	1,8°
Nema	23
Akım	3 A
Faz Endüktansı	3,0 mHz
Faz Direnci	0,9 ohms
Tutma Torku	2,2 Nm
Faz Numarası	2
Ağırlık	1.1 kg
Tel Sayısı	8
Uzunluk	76 mm
Mil Kalınlığı	6,35 mm
Ön Kare Flanş Ebatları	57 mm x 57 mm

Elektrik enerjisi alındığında rotor ve buna bağlı şaft, sabit açısal değerlerde dönmeye başlar. Adım motorlar, yüksek hızlı anahtarlama özelliğine sahip sürücülere bağlıdır. Çalışmada, X ve Z eksenlerine monte edilen 2.2 Nm'lik adım motorların hareketi 2 adet JK1545 -CEO-5045 sürücü tarafından sağlanmaktadır. Şekil 4.7'de adım motorlara ait sürücü verilmektedir.



Şekil 4.7. Sistemde kullanılan adım motor sürücüsü görüntüsü.

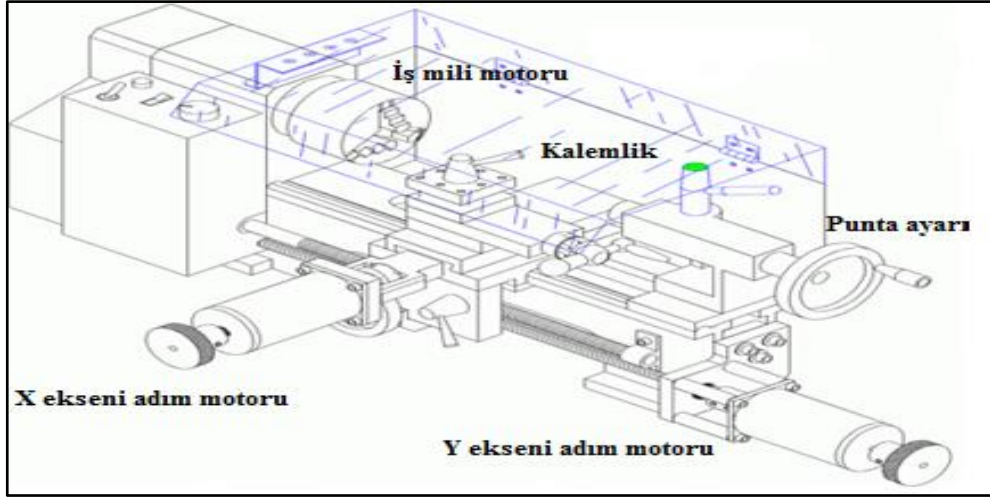
Sürücü, imalat tasarımı NC programına bağlı olarak, MK1 mikrodenetleyicisi üzerinden giriş darbeleri almaktadır. Çizelge 4.3'te JK1545-CEO-5045 adım motor sürücüsüne ait teknik bilgiler verilmektedir.

Çizelge 4.3. Eksen hareketleri adım motor sürücülerine ait teknik özellikler.

DA Besleme Gerilimi	24V~50V DA
Çıkış Akımı	3 - 4,5A
Adım Açısı	1.8°
Ölçüler	118×76×33 mm
Ağırlık	<300g

4.1.4. Sabitleme Ve Aktarma Elemanları

Adım motorlar, tezgahın X ve Z eksenlerine tasarlanan motor sabitleme yatakları ve sonsuz vida aktarma elemanlarıyla monte edilmiştir. Sistemin titreşimsiz, rijit bir şekilde çalışması sağlanmıştır Adım motor eksen montajı çizimi Şekil 4.8'de verilmektedir.



Şekil 4.8. Sistemde yer alan tezgah ve eksenlere ait montaj çizimi görüntüsü.

Çalışmada, eksen hareketlerinde, ilerleme esnasında mekanik titreşimleri ortadan kaldırarak rijit bir yapı oluşturmak için, dış ölçüleri 30 x 34 mm olan ve 6,35 x 8 mm plot deliğine sahip kaplin tasarlanmıştır. Montaj sonrası tezgah görüntüsü Şekil 4.9'da verilmektedir.



Şekil 4.9. Eksen motorları montajı sonrası torna tezgah görünümü.

4.1.5. Manuel Kontrol Ünitesi İçin 4 Kanallı Röle Kartı

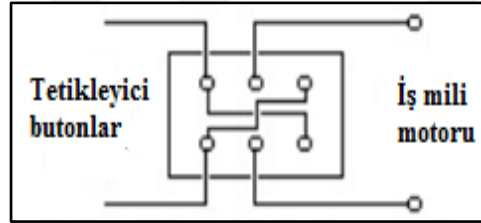
Çalışmada, tezgah üzerinden başlatma/durdurma, motor yönü seçimi, otomatik/manuel denetim ve motor devir sayısı ayarlama fonksiyonlarını

gerçekleştirebilmek için anahtarlama elemanı olarak 5 Volt tetiklemeli maksimum 10 amper'e kadar akım, DA 30 Volt ve AC 250 Volt aralığında gerilim geçirgenliğine sahip, 4 kanallı bir röle kullanılmaktadır. Şekil 4.10'da çalışmada yer alan 4 kanallı röle verilmektedir.



Şekil 4.10. Dört kanallı röle ve manuel kontrol ünitesine ilişkin görüntü.

İş mili motor sürücüsünün yön kontrolü olmadığından, yön kontrolünün yapılabilmesi için mikrodenetleyici tarafından kontrol edilen iki adet röle kullanılmıştır. Şekil 4.11'de verilen şemaya göre röleler tek kontaklı olduğundan röle kartımızdaki 2 röle ile motor yönü kontrol edilmektedir.

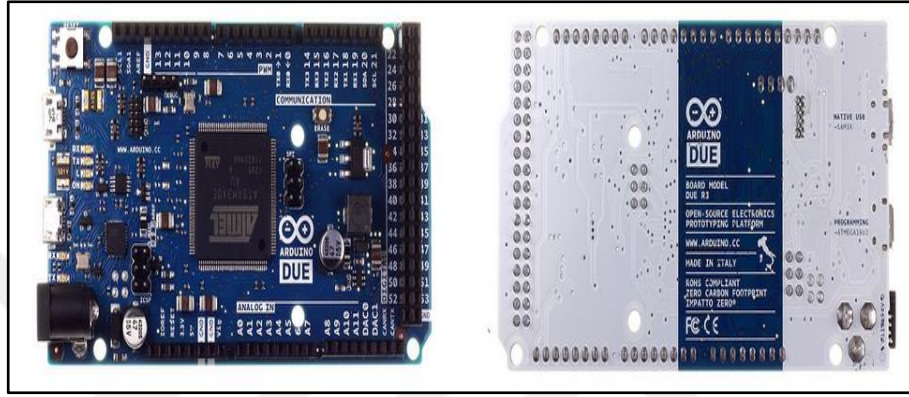


Şekil 4.11. Röle kartı üzerinde iki kanal ile DA motor yön kontrolü devre şeması.

4.1.6. Sistem Kontrol Mikrodenetleyicisi

Arduino Due 32 bit'lik Cortex M3 ARM mikrodenetleyici temelli olup, 7-12 Volt besleme aralığında çalışabilen 32 Bitlik AT91SAM3X8E işlemcili ve analogdan dijitala dönüştürücü (ADD) olarak 12 bitlik çözünürlüğe sahiptir. Arduino Due mikrodenetleyicisi ile Durum İzleme Sistemi verileri olan akım ve devir sayısı değerlerinin gerçek zamanlı elde edilmesi ve tezgahın yönetimi gerçekleştirilmektedir. Ayrıca iş mili motorunun PID ve BM denetleyici algoritmaları hız denetimi, bu mikrodenetleyici üzerinde gömülü yazılım ile sağlanmaktadır.

Tezgaah sisteminin bilgisayar bağlantısı olmadan, tezgah üzerinden manuel kontrolü durumunda; motor yönü, çalışma şekli (otomatik/manuel) ve potansiyometre ile devir sayısının belirlenerek çalıştırılması da bu mikrodenetleyici üzerinden gerçekleştirilmektedir. Arduino Due mikrodenetleyici kartı Şekil 4.12’de verilmektedir. Arduino Due mikrodenetleyicisine ait teknik özellikler ise Çizelge 4.4’te verilmektedir.



Şekil 4.12. Arduino Due mikrodenetleyici kart görüntüsü.

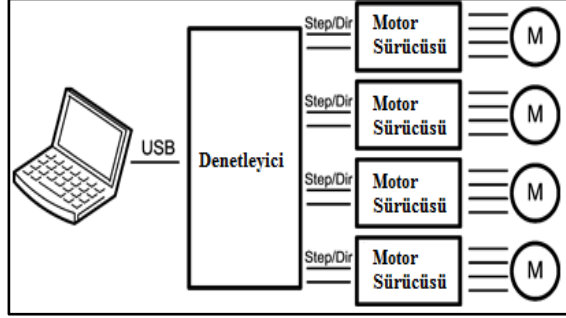
Çizelge 4.4. Arduino Due mikrodenetleyicisine ait teknik özellikler.

Mikroişlemci:	AT91SAM3X8E
İşlem Gerilimi:	3.3 V
Tavsiye Edilen Giriş Gerilimi:	7-12 V
Min-Max. Giriş Gerilimi:	6-20 V
Dijital I/O Pin Sayısı:	54 (12si DGM çıkışı olarak kullanılabilir)
Analog Giriş Pin Sayısı:	12
Analog Çıkış Pin Sayısı:	2
Akım Değerleri:	130 mA 3.3 V’luk Pinler için DA Akımı: 800 mA 5 V’luk Pinler için DA Akımı: 800 mA
Flash Bellek:	512 kB
SRAM:	96 kB (iki parça: 64 kB ve 32 kB)
Saat Hızı:	84 MHz

4.1.7. Eksen Kontrol Kartı Ve Uygulama Yazılımı

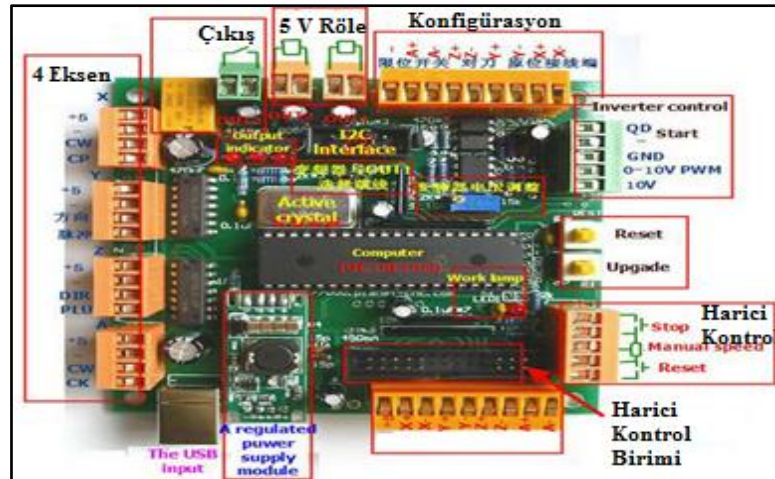
Durum İzleme Sistemine entegre olarak, tezgah üzerindeki eksen hareketlerini sağlayan adım motorların, tasarıma özgü imalat kodlarıyla yürütülmesi, sisteme USB ara birim ile bağlı olan MK1 kontrol kartı ve USB-CNC CAM paket yazılımı

tarafından gerçekleştirilmektedir. MK1 CNC kontrol kartıyla, 4 eksene kadar adım motorların hareket kontrolü sağlanmaktadır (Şekil 4.13).



Şekil 4.13. Eksenler için MK1 CNC kontrol kartı blok şeması.

CNC tezgahların işletilmesi için gerekli NC program kodları bilgisayar üzerinden eksen hareketleri kontrolünü sağlayan kontrol kartıyla haberleşmektedir. MK1 kontrol kartı üzerinden CNC torna tezgahı eksenlerine bağlı adım motorlar, eş zamanlı olarak kontrol edilmektedir. MK1 CNC kontrol kartı 5 Volt DC beslemeli olup, 3 dijital çıkışa ve maksimum 25 kHz'lik adım frekansına sahiptir. Şekil 4.14'te MK1 CNC kontrol kartı görüntüsü verilmektedir.



Şekil 4.13. Sistemde kullanılan eksen hareketleri kontrol kartı görüntüsü.

Bilgisayar destekli olarak imalat sonunda üretilmek istenen malzemeye ait tasarım, düzenleme ve imalatın kontrol edilmesi için sistemde hazır olarak USB CNC CAM paket yazılımı kullanılmaktadır. Modern bilgisayar sistemlerinde kurulum ve

kullanımda kolaylık ve esneklik sağlayan CAM yazılımıyla karmaşık tasarımlarda dahi NC kodlarıyla imalatın gerçekleşmesi sağlanmaktadır. Yazılım ara yüzü kullanıcıya tasarım görünümünü, G kod panelini, anlık eksen konumlarını ve eksen hareketlerini, sıfırlama işlemlerini, adım motorlara ait kalkış hızı ve ivme ayarlamalarını da sunmaktadır.



Şekil 4.14. Sistemde kullanılan CAM yazılımı örnek ara yüzüne ilişkin görüntü.

4.1.8. Sistemde Yer Alan Algılayıcılar

4.1.8.1. Devir Algılayıcısı/Dönüştürücüsü

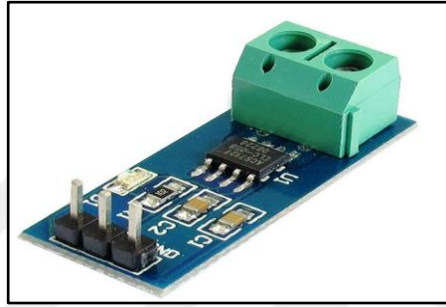
Devir algılayıcısı dönen metal cisimler üzerinden ölçüm yapmak için kullanılmaktadır. Algılayıcının cismi algılaması için nesnenin algılayıcı önünden geçmesi gereklidir. Cismin her geçişinde bir darbe üretilmektedir. Algılayıcı DA 5 Volt ile çalışmaktadır. Gömülü sistemde hazırlanan yazılım aracılığıyla darbeler anlık olarak sayılarak devir frekans değerine ulaşılmaktadır. Şekil 4.15’ te manyetik devir algılayıcısı verilmektedir.



Şekil 4.15. Sistemde kullanılan manyetik devir algılayıcısı.

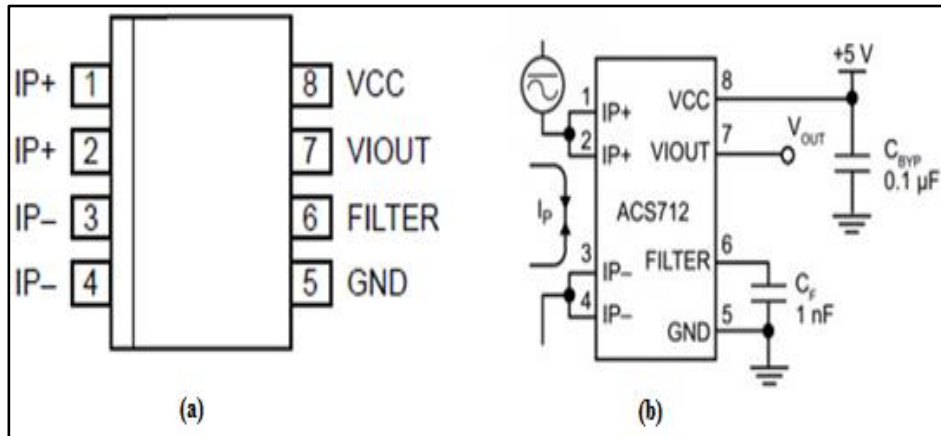
4.1.8.2. Akım Algılayıcısı/Dönüştürücüsü

Allegro firmasına ait ACS712 akım algılayıcı kartının katalog bilgilerine göre $\pm 30A$ ACS712T ELC-30A manyetik etkiye bağılı lineer olarak çalışmaktadır. Hata payı %5'nin altında olmak üzere, analog olarak gerilim (66 mV/A) çıkış vermektedir. +30 A'dan, -30 A'e çift yönlü giriş akımı için tasarlanmıştır. İletken yolda iç rezistansı $1,2 \text{ m}\Omega$ 'dur. Çalışma sıcaklığı -40°C 'den 85°C 'ye kadardır. Çalışma voltaj aralığı ise $3-5 \text{ V}$ 'den 5 V 'ye kadardır. Şekil 4.16' da akım algılayıcı görüntüsü verilmektedir.



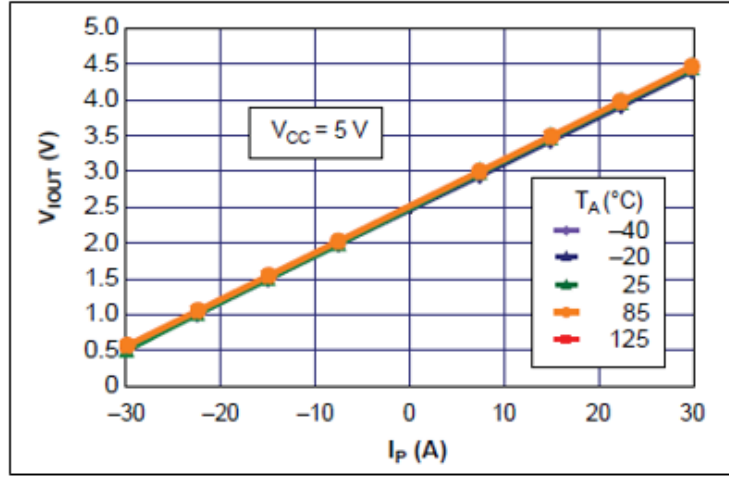
Şekil 4.16. Sistemde kullanılan akım algılayıcısı.

Şekil 4.17'de akım algılayıcısı pin görünümü ve bağlantı şeması verilmektedir. Bağlantı şemasında belirtildiği üzere akımın 1 ile 4 pinlerinden geçirilmesiyle ve 5 ile 8 numaralı pinlere ise $5V$, GND ve filtre kapasitörleri eklenerek kullanılmaktadır. Algılayıcı çıkışında gürültü değerini azaltmak için filtre kapasitörleri sisteme uygun frekans değerleri dikkate alınarak artırılabilir.



Şekil 4.17. Akım algılayıcısı a) giriş/çıkış pin görünümü ve b) bağlantı şeması.

ACS712T ELC-30A algılayıcısı ile akımla lineer orantılı bir şekilde V_{out} pininden gerilimi analog olarak okuyarak akım değeri elde edilmektedir. Şekil 4.18’de giriş akımına bağlı olarak lineer gerilim çıkışını gösteren grafik verilmektedir.

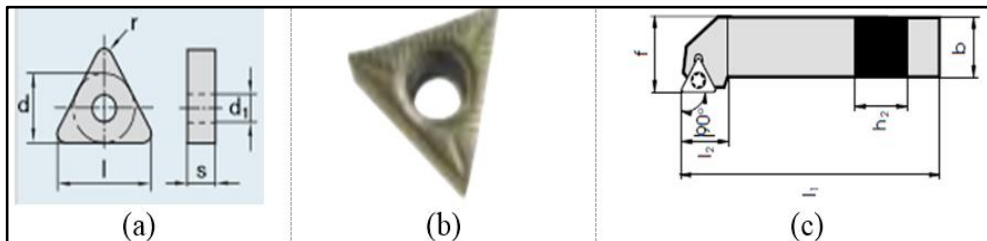


Şekil 4.18. Akım algılayıcısı girişe bağlı çıkış gerilimi karakteristik grafiği.

ACS712T ELC-30A algılayıcısı çıkış sinyali olarak 10 bit hassasiyetinde 0-5 V aralığında değer üretmektedir. Taban olarak ürettiği 2,5 V değerini, analog olarak okunan değerden çıkarılarak, okuma işi gerçekleştirilmektedir.

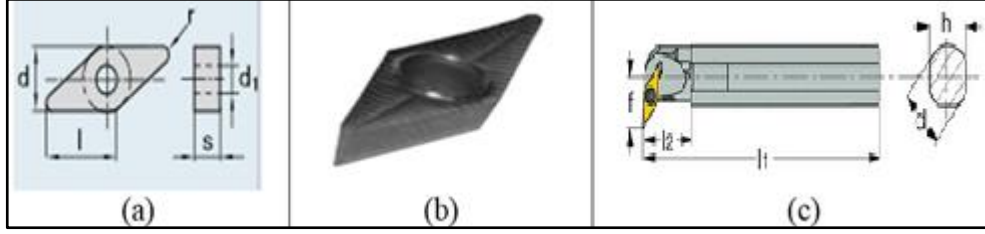
4.1.9. Kesici Takımlar ve Takım Tutucular

Tezgah iş mili motoru üzerinde PID ve BM hız denetim yöntemleri ile gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda düz profil işleme için Böhrler TCGT 16T308-270 kodlu kesici takım kullanılmıştır. Düz işleme deneylerinde kullanılan kesici takıma ve uygun takım tutucuya ilişkin ölçüler ve görüntüler Şekil 4.20’de verilmektedir.



Şekil 4.19. Düz işlemede kullanılan a) kesici takım, b) geometrisi ve c) takım tutucu teknik çizim görüntüsü.

Farklı geometrilerde işleme deneysel çalışmalarında, Böhler VCGT 160408-270 kodlu kesici takım kullanılmıştır. Farklı profillerde kullanılan kesici takıma ve uygun takım tutucuya ilişkin ölçüler ve görüntüler Şekil 4.20’de verilmektedir.

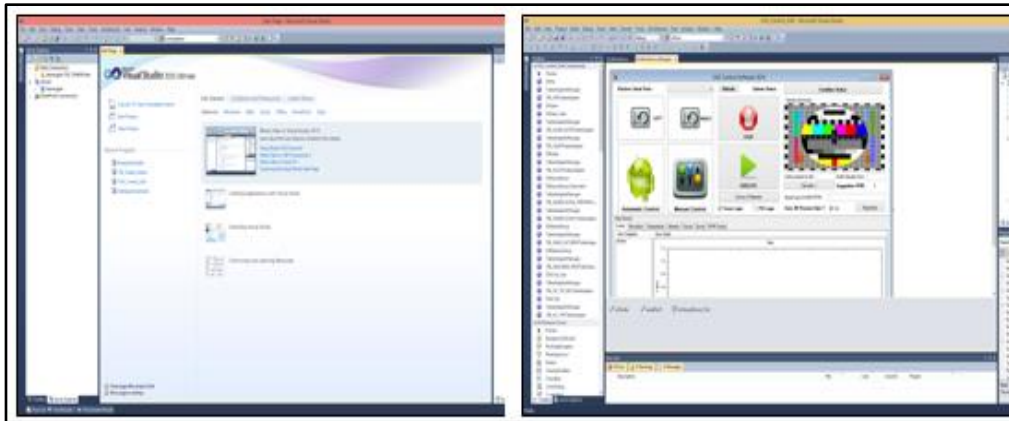


Şekil 4.20. Profil işlemede kullanılan a) kesici takım, b) geometrisi ve c) takım tutucu teknik çizim görüntüsü.

4.1.10. Yazılım Geliştirme Platformu Ve Veri Tabanı Yönetim Sistemi

4.1.10.1. .NET Framework ve Visual Studio Geliştirme Platformu

.NET Framework, Windows, Windows Phone ve Windows Server tabanlı uygulamaları geliştirmeye olanak sağlayan bir platformdur. Visual Basic ve Visual C# programlama dilleri dâhil çeşitli programlama dilleriyle entegrasyon olanağı sağlamaktadır. Microsoft Visual Studio ise; günümüzde yazılım geliştirme dünyasında önemli bir yer tutan Integrated Development Environment (IDE) ortamıdır [45]. Şekil 4.21’de Visual Studio 2010 yazılım geliştirme platformuna ait örnek bir IDE görüntüsü ve ara yüz çalışması verilmektedir.

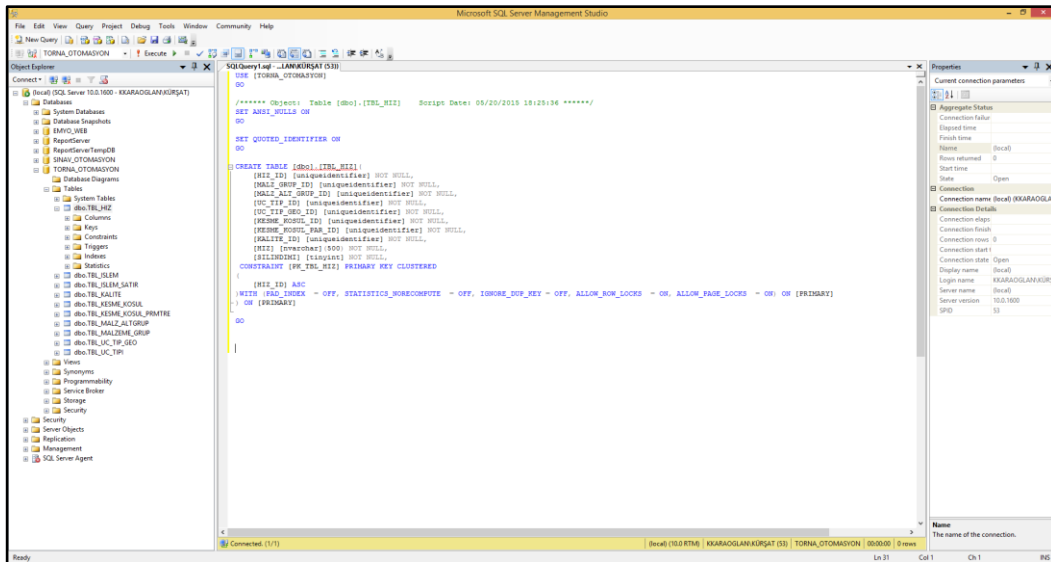


Şekil 4.21. Visual Studio platformunda örnek bir başlangıç IDE görüntüsü.

Microsoft Visual Studio, Windows, Windows Mobile, Windows CE, .NET Framework, Silverlight tarafından desteklenen tüm platformlar için yönetilen kod ile birlikte yerel kod ve Windows Forms uygulamaları, web siteleri, web uygulamaları ve web servisleri ile birlikte konsol ve grafiksel kullanıcı ara yüzü uygulamaları geliştirmek için kullanılmaktadır. Visual Studio geliştirme platformu, C/C++, VB.NET, C#, ve F# dillerini destekler ve bu da kod editörü ve hata ayıklayıcısının çoğu programlama dillerini desteklemesine olanak sağlamaktadır [45]. Çalışmada tezgah denetimi ve Durum İzleme Sistemi yazılımları Visual C# programlama dili ile VS 2010 Ultimate yazılım platformunda gerçekleştirilmiştir.

4.1.10.2. Veri Tabanı Yönetim Sistemi (VTYS)

VTYS fiziksel hafıza ve veri tiplerini kullanıcılar yerine düzenleyen, denetleyen ve standart bir Structed Query Language (SQL) ara yüz sağlamaktadır. VTYS dosya ve veri yapısı, fiziksel hafıza gibi işlemlerle ilgilenecek, veri giriş-çıkışı için uygun bir bilgi yerleşkesi geliştirmelerine olanak sağlayan yazılımlardır [46]. Sisteme ait veri tabanı tasarımı ve tablo oluşturma işlemleri MSSQL Server 2008 Management Studio yönetim sistemi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.22'de MSSQL Server 2008 Management Studio SQL kullanarak ile tablo oluşturma işlemine ait bir örnek verilmektedir.

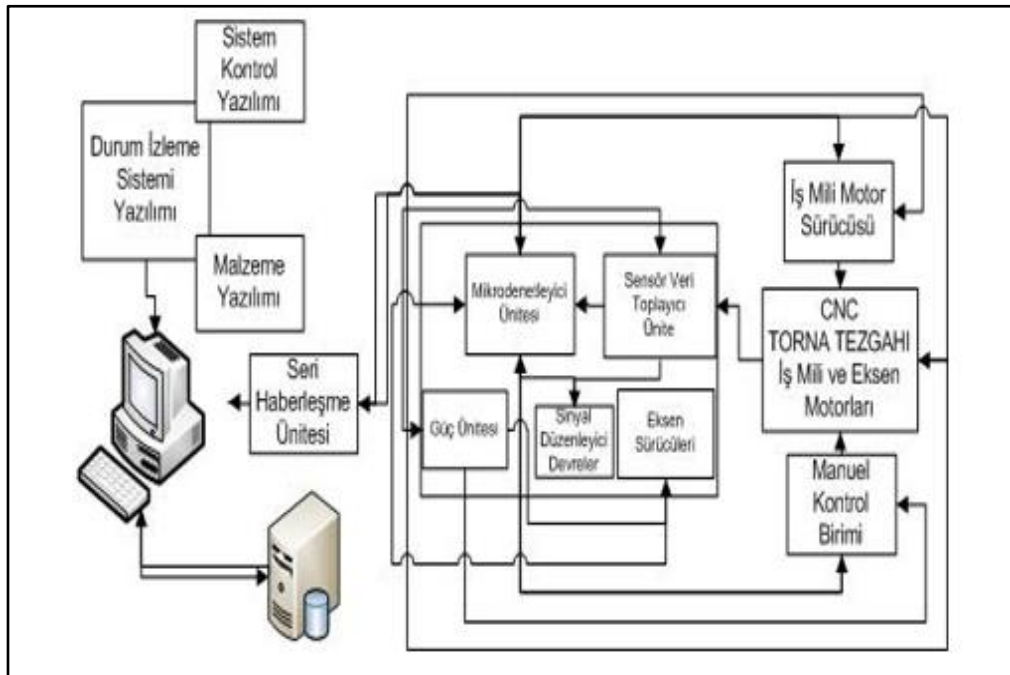


Şekil 4.22. MSSQL Server 2008 Management Studio VTYS platformu.

4.2. METOD

4.2.1. Sistem Genel Tasarımı

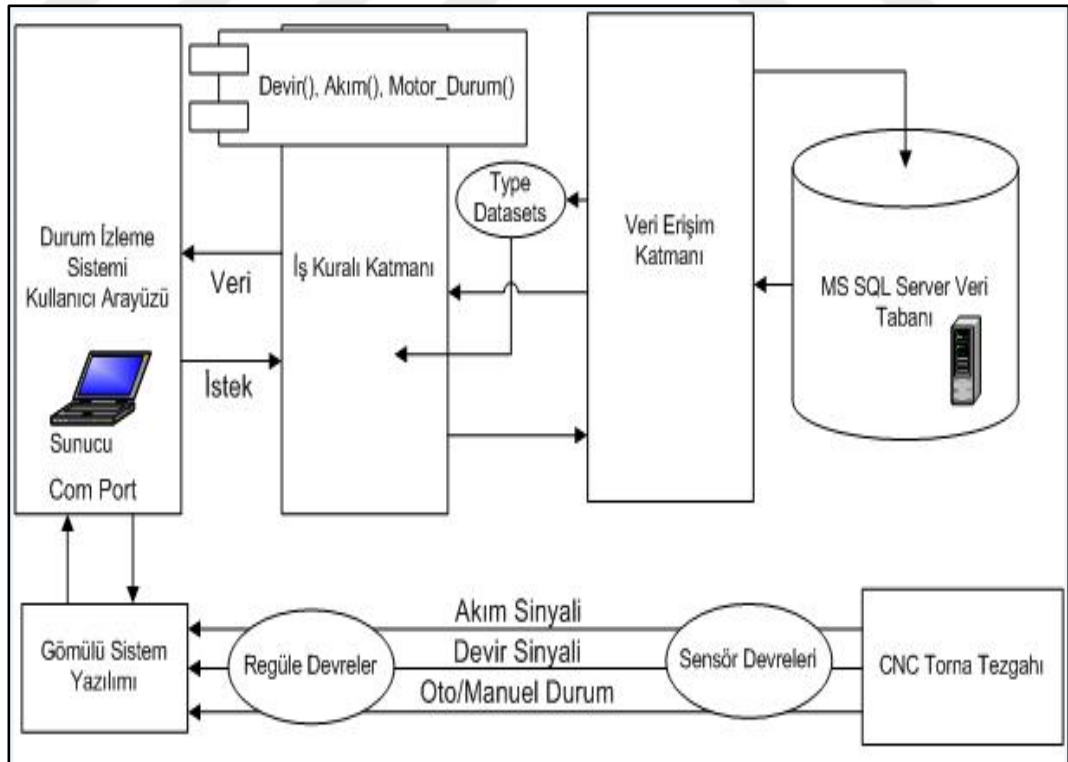
Bu çalışmada bilgisayar destekli torna tezgahı yazılımları, mikrodenetleyicilerle USB arabirimi üzerinden haberleştirilmektedir. Tezgah yazılımlarıyla, donanım bileşenleri arasında gerçek zamanlı ve çift yönlü veri alış verişi sağlanmaktadır. Eksenlerin kontrolü ilerleme ve kesme işlevlerinin programlanması NC kodlarıyla gerçekleştirilmektedir. CNC tezgah üzerindeki iş mili motora bağlı algılayıcılar ile Durum İzleme Sistemi yazılımı arasındaki haberleşme, 32 Bitlik AT91SAM3X8E işlemcili ve 12 bit analog giriş çözünürlüğe sahip mikrodenetleyici üzerindeki gömülü yazılım tarafından gerçekleştirilmektedir. İzleme sisteminde yer alan devir sayısı ve akım analog sinyallerine ek olarak motor çalışma durumu, motor dönüş yönü sinyalleri de algılayıcıların veri toplama ve düzenleme birimi tarafından düzenlenerek, tezgah sistemiyle veri alış-verişi sağlanmaktadır. Sistem yazılımlarının yönetimi, ileri grafik bileşenleri ve anlık liste gösterimleriyle hazırlanan tek bir kullanıcı ara yüzüyle gerçekleştirilmektedir. Şekil 4.23'te geliştirilen sisteme ait genel bir tasarım blok şeması verilmektedir.



Şekil 4.23. Sisteme ait genel bir tasarım blok şeması.

4.2.2. Sistem Yazılımları

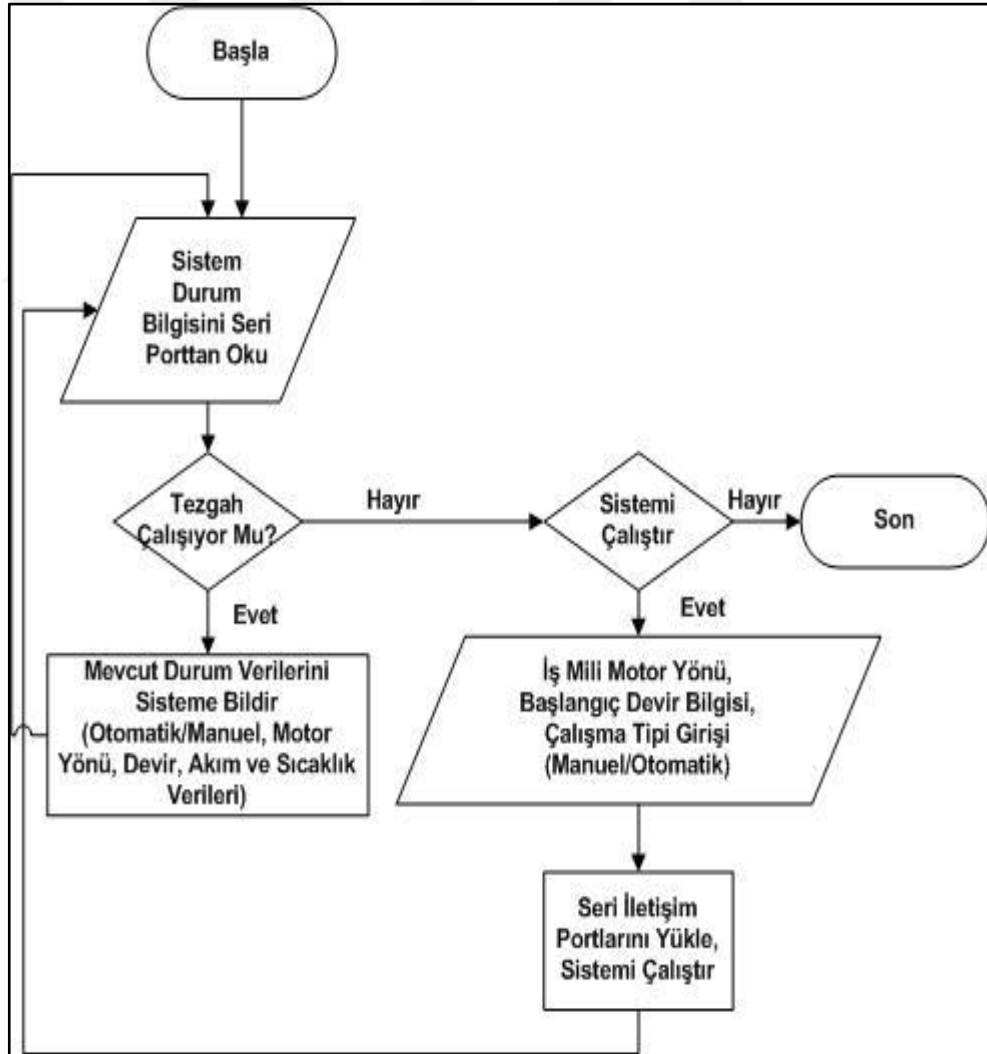
Bilgisayar destekli torna tezgah üzerinde operatör kullanımı için tasarlanan uzman sistem tezgah denetimi ve Durum İzleme yazılımları; gerçek zamanlı olarak sistem donanımlarına bağlı algılayıcı sinyallerini sunmak, raporlamak ve tezgahı aktif olarak yönetmek amacıyla NYP (Nesneye Yönelik Programlama) tekniğiyle, çok katmanlı mimariye sahip olarak, C# programlama diliyle hazırlanmıştır. Sistem üzerinden alınan tüm imalat algılayıcı sinyalleri anlık olarak veri tabanı üzerinde kayıt altına alınmaktadır. Bu sayede istenildiğinde geçmiş imalatların incelenmesi ve analizinin sağlanması mümkün hale gelmektedir. Kullanılan gömülü yazılım C diline benzer bir sentaks ile fonksiyonel olarak Arduino IDE kod editörü ve derleyici olarak görev yapan platform üzerinde hazırlanmıştır. Sistem yazılımları olarak çalışmamamızı Durum İzleme, tezgah denetim sistemi ve gömülü sistem yazılımı olarak üç bölüme ayırmak mümkündür. Ayrıca ilerleme ve kesme işlevleri için NC kodlarını işleyen CAM yazılımı ile eksen hareketleri de kontrol edilmektedir. Şekil 4.24'te sisteme ait yazılımların çalışmasına ait genel bir tasarım şeması verilmektedir.



Şekil 4.24. Sistem yazılımlarının birbirleriyle ilişkileri.

4.2.2.1. Tezgah Denetimi Ve Durum İzleme Yazılımı

Tezgah denetimi ve Durum İzleme yazılımıyla, donanımlar arasındaki iletişim USB arayüzü üzerinden Arduino Due mikrodenetleyicisiyle çift yönlü ve gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilmektedir. Mikrodenetleyici ile algılayıcı toplayıcı birimden alınan anlık veriler, Durum İzleme ve kontrol yazılımı tarafından 100 ms'lik döngülerle sürekli alınmaktadır. Alınan verilerin yorumlanması ve ayrıştırılması sonucu sistem durumunun yazılım ara yüzüyle izlenmesi sağlanmaktadır. Sistemin anlık durumuna bağlı olarak operatör tarafından tezgahın başlatılmasına veya yürütülmesine olanak sağlanmaktadır. Şekil 4.25' te geliştirilen uzman sistem tezgah denetimi ve Durum İzleme Sistemi yazılımlarına ilişkin temel akış şeması verilmektedir.



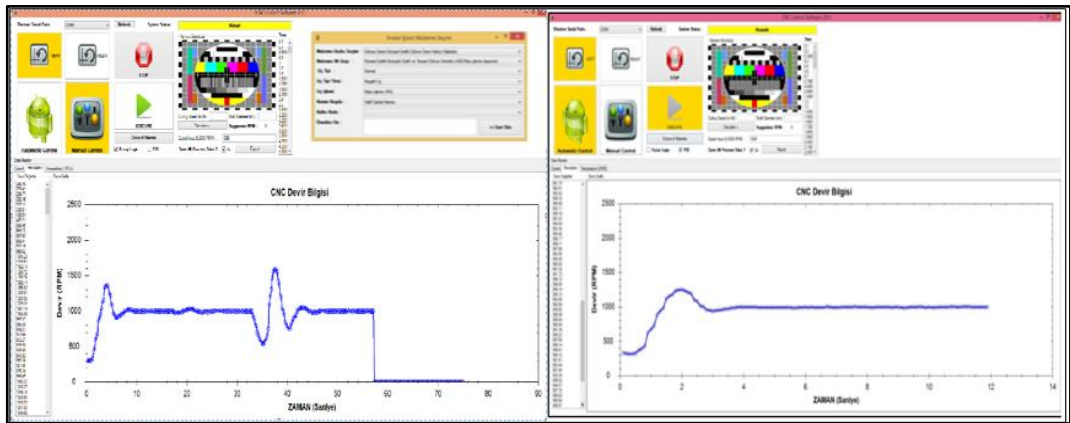
Şekil 4.25. Tezgah denetimi ve durum izleme yazılımını temel akış şeması.

Yazılımlarda kullanılan çok kanallı iş parçacığı yöntemiyle, algılayıcı verileri USB arabiriminden okunurken, Durum İzleme Sisteminin yenilenmesi, veri kaydetme ve seri porta yollama fonksiyonlarının çalışması senkronize olarak sağlanmıştır. Şekil 4.26'da sistem yazılımının giriş arayüzü verilmektedir.



Şekil 4.26. Tezgaah denetim yazılımı giriş ara yüzü.

CNC tezgah üzerindeki tüm imalat süreçleri, yazılım ara yüzü yardımıyla anlık izlenebilir ve yürütülebilir hale getirilmiştir. Oluşturulan Durum İzleme Sistemi yazılımı ile kullanıcıya algılayıcılardan alınan devir sayısı, akım, dönüş yönü, motor durumu ve çalışma şekli verileri grafiksel olarak hazırlanan bir yazılım ara yüzü ile sunulmaktadır. Şekil 4.27'de tezgah sisteminin denetim ara yüzü ve PID ile çalıştırılmasına ait örnek bir ara yüz görüntüsü verilmektedir.



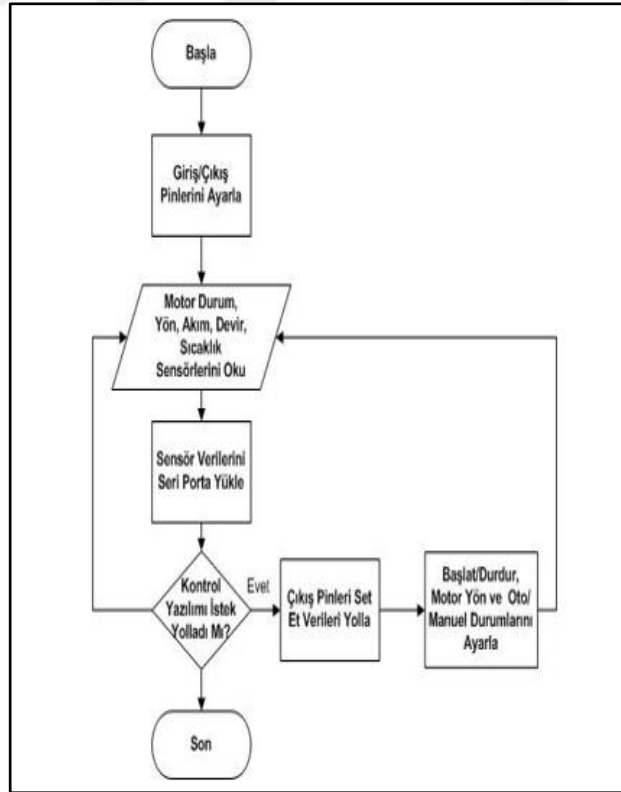
Şekil 4.27. Durum İzleme Sistemi ve tezgah denetim yazılımına ait örnek ara yüzler.

Yazılım kullanıcıya tezgahı başlatma, durdurma, iş mili motorunun hız denetleyici yöntemlerinde referans alınacak devir sayısını belirleme ve diğer kullanım seçenekleri olan motor yönü ve otomatik/manuel seçeneklerine göre tezgahı yönetebilme imkanı sağlamaktadır. Malzemeye özgü referans devir sayısı bilgileri kullanıcı tarafından

belirlenebildiği gibi veri tabanı üzerinden de seçilebilmektedir. Tezgah sisteminde, iş mili motorunun, hız denetimi yöntemleriyle kullanılmasına ek olarak, bilgisayarsız olarak tezgah üzerinden çalıştırılması için elektronik devrelerden, tezgah üzeri kontrol panosu da geliştirilmiştir.

4.2.2.2. Gömülü Sistem Yazılımı

Sistemde kullanılan açık kaynak kodlu elektronik geliştirme kartı olan Arduino esnek ve kolay kullanımı sayesinde son zamanlarda otomasyon alanında büyük ilgi çekmektedir. Programlama geliştirme ara yüzünün basitliği, sentaks bakımında C/C++ dil ailesine benzerliğinden yazılım geliştirme, derleme ve yükleme aşamalarında karmaşıklık olmamaktadır. CNC tezgah üzerindeki devir, akım, sistem durumu, motor yönü ve çalışma tipi algılayıcı verilerinin sürekli olarak okunması, USB arayüzü ile tezgah denetim ve Durum İzleme yazılımlarıyla haberleştirilmesi, mikrodenetleyicisi üzerindeki gömülü yazılımlarla gerçekleştirilmektedir. Şekil 4.28’de mikrodenetleyici üzerindeki gömülü yazılıma ait temel akış diyagramı verilmektedir.

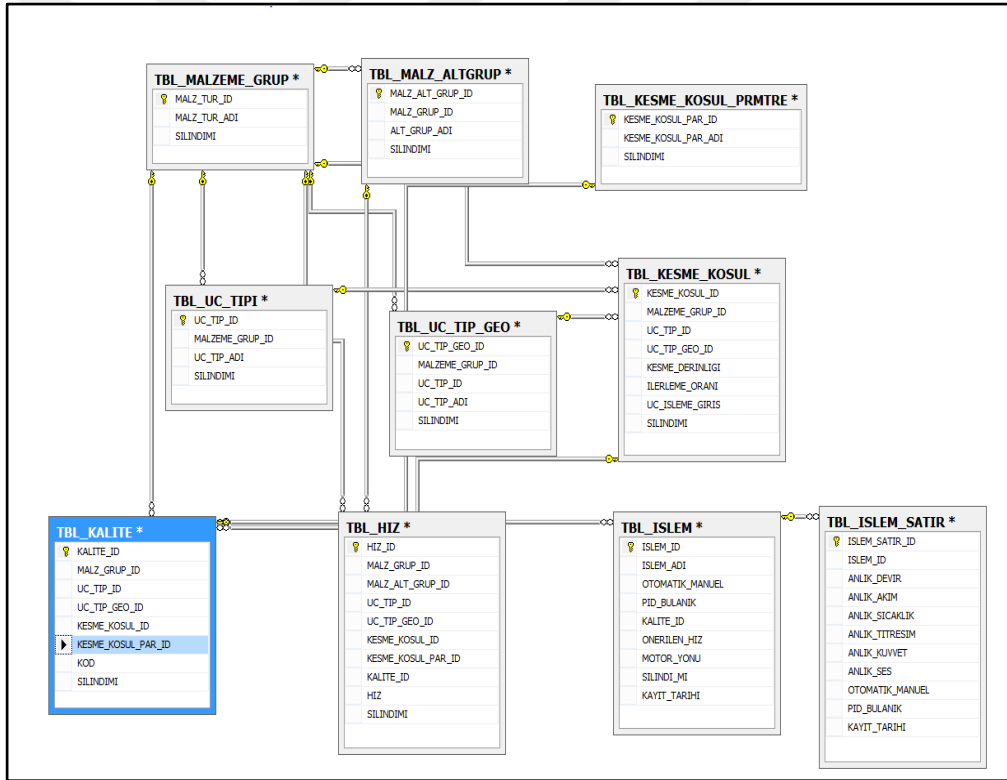


Şekil 4.28. Gömülü sistem yazılımı temel akış diyagramı.

4.2.3. Malzeme Veri Tabanı Yazılımı

4.2.3.1. Veri Tabanı Tasarımı

Tezgah kullanıcılarına işlenecek malzemeye özgü imalat bilgilerini sunmak amacıyla, malzeme veri tabanı yazılımı hazırlanmıştır. Bu yazılım için; Microsoft SQL Server VTYS yazılımı kullanılarak, veri bütünlüğü, tutarlılığı kuralları korunarak, tablo varlıklarıyla ilişkisel veri tabanı tasarlanmıştır. Tablolara özgü birincil ve yabancı anahtarlar, null, check ve default kısıtlayıcıları tanımlanmıştır. Tasarlanan veri tabanına imalat işlemlerinde kullanılacak yeni malzemelerin de katalog bilgileri, yazılım ara yüzleriyle kaydedilmektedir. Şekil 4.29’da tablo tasarımı verilmektedir.

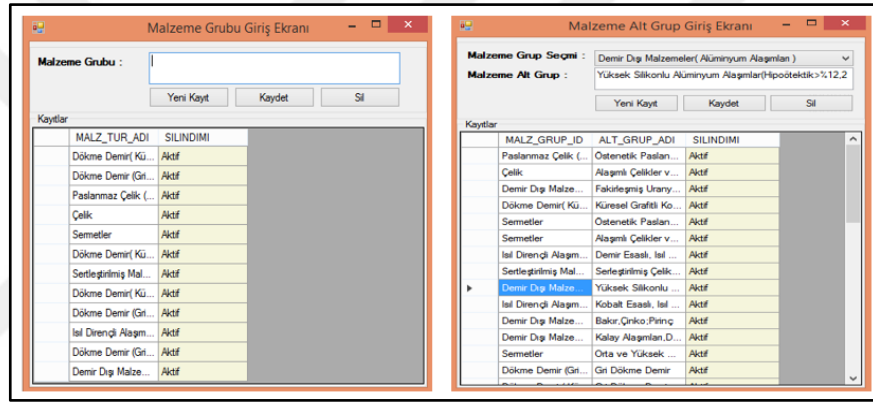


Şekil 4.29. Veri tabanı tablo tasarımı görüntüsü.

4.2.3.2. Malzeme Veri Tabanı Kayıt Ve Listeleme Yazılım Ara Yüzleri

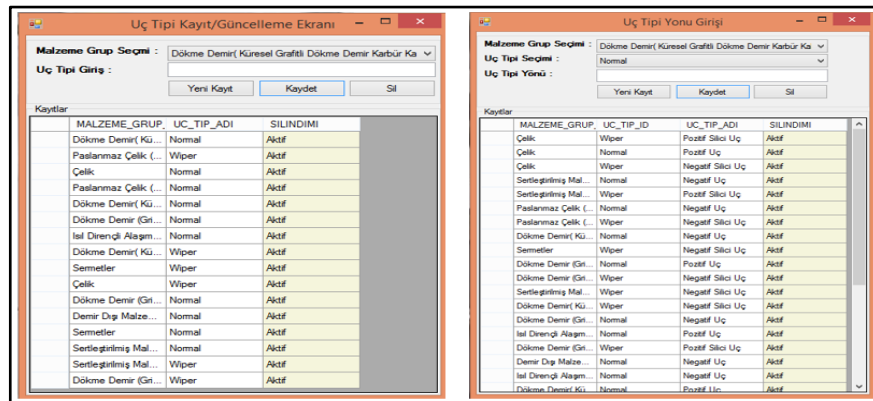
Veri tabanı tasarımına bağlı olarak malzemelere özgü katalog verilerin kaydedilmesi ve listelenmesi, sistem yazılımına entegre edilen malzeme veri tabanı yazılımı

üzerinden gerçekleştirilmektedir. Bu yazılım sayesinde üretilmek istenen malzemeye özgü imalat bilgilerinin kullanıcıya sunulması sağlanarak, katalog bilgilerinden hızla yararlanılması ve daha güvenli, kaliteli, standart bir imalatın gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Malzeme veri tabanı yazılımı için malzeme katalog bilgi setlerini, veri güvenliği ve bütünlük prensiplerine uygun şekilde kaydeden ilişkisel veri tabanı tasarımı hazırlanmıştır. Bu sayede yeni malzemelerin ve malzemelere bağlı parametrelerin girişleri sağlanarak sistemin güncel kalması sağlanmaktadır. Veri tabanı tasarımı sonucu hazırlanan ekranlarda; malzeme grupları ve bu gruplara bağlı olarak alt grupların kayıt ve listelenmesini sağlayan ekranlar Şekil 4.30’da verilmektedir.



Şekil 4.30. Malzeme grup ve alt grup verilerine ilişkin yazılım ara yüzleri.

Şekil 4.31’de malzeme grubuna ait uç tipleri ve uç tiplerine bağlı olarak girilen uç tipi yön kayıt ve listeleme ekranları verilmektedir.



Şekil 4.31. Uç tipi ve uç tipi yönü verilerine ilişkin yazılım ara yüzleri.

Şekil 4.32’de malzeme grubu, uç tipi yönü ve geometrisine bağlı olarak işleme tipi girişi, kesme derinliği ve ilerleme oranı verilerini kaydetme olanağı sağlayan uç tipi geometrik işlemleri kayıt ve listeleme ara yüzü verilmektedir.

MALZEME_GRUP	UC_TIP_ID	UC_TIP_GEO_ID	KESME_DERINLIG	ILERLEME_ORAN	UC_ISLEME_GIRIS	SILINDIMI
Sertleştirilmiş Mal...	Normal	Pozitif Uç	0.50	0.16	Orta İşleme (-T-15)	Aktif
Sertleştirilmiş Mal...	Wiper	Negatif Silici Uç	0.16	0.1	Finiş İşleme Silici ...	Aktif
Sermetler	Normal	Negatif Uç	0.33	0.1	-FX	Aktif
Isıl Dirençli Alaşım...	Normal	Negatif Uç	0.80	0.20	Orta İşleme(NG)	Aktif
Çelik	Normal	Negatif Uç	0.30	0.16	Finiş İşleme (-FN)	Aktif
Isıl Dirençli Alaşım...	Normal	Pozitif Uç	0.25	0.1	Finiş İşleme (GT-...	Aktif
Dökme Demir(Kü...	Normal	Negatif Uç	2.1	0.4	Kaba İşleme (-T-20)	Aktif
Paslanmaz Çelik (...)	Normal	Negatif Uç	0.13	0.1	Hassas Finiş işle...	Aktif
Çelik	Normal	Negatif Uç	2.1	0.4	Kaba İşleme (-RN)	Aktif
Dökme Demir(Kü...	Normal	Pozitif Uç	0.13	0.063	Hassas Finiş işle...	Aktif
Dökme Demir(Gri...	Normal	Negatif Uç	0.30	0.16	Finiş İşleme (-FN)	Aktif
Demir Dışı Malze...	Normal	Pozitif Uç	0.25	0.16	Finiş İşleme (GT-...	Aktif
Sermetler	Wiper	Negatif Silici Uç	0.40	0.16	Orta İşleme Silici (...)	Aktif
Sermetler	Wiper	Negatif Silici Uç	0.21	0.1	Finiş İşleme Silici ...	Aktif
Dökme Demir(Kü...	Normal	Pozitif Uç	0.13	0.063	Hassas Finiş işle...	Aktif
Dökme Demir(Kü...	Normal	Negatif Uç	2.0	0.4	Kaba İşleme (-MA)	Aktif
Dökme Demir(Kü...	Normal	Negatif Uç	0.30	0.16	Finiş İşleme (-FN)	Aktif

Şekil 4.32. Uç tipi geometri verilerine ilişkin yazılım ara yüzü.

Şekil 4.33’te kesme koşullarının tanımlandığı kesme koşul parametre girişi ve listeleme ara yüzü verilmektedir.

KESME_KOSUL_P	SILINDIMI
Hafif Darbeli Kes...	Aktif
Ağır Darbeli Kesme	Aktif
Düz Kesme Önce...	Aktif
Değişken Kesme ...	Aktif

Şekil 4.33. Kesme koşul parametre verilerine ilişkin yazılım ara yüzü.

Şekil 4.34’te tasarlanan ilişkisel veri tabanına bağlı olarak malzeme grubu, uç tipi, uç tipi yönü, uç tipi geometrisi ve kesme koşullarıyla birlikte tanımlanan kalite kodu kayıt ve listeleme ara yüzü verilmektedir.

Kalite Giriş Ekranı

Malzeme Grubu Seçimi : Isıl Dirençli Alaşım (Demir Est) Uç Tipi : Normal

Uç Tipi Yönü : Pozitif Uç Uç İşlemi : Orta İşleme (MT-LF)

Kesme Koşulu : Hafif Darbeli Kesme

Kalite Kodu : KC5025 Yeni Kayıt Kaydet Sil

MALZ_GRUP_ID	UC_TIP_ID	UC_TIP_GEO_ID	KESME_KOSUL_I	KESME_KOSUL_P	KOD	SILINDIMI
Demir Dış Malze...	Normal	Negatif Uç	Finiş İşleme (GA...	Düz Kesme Önce...	KD1425	Aktif
Sertleştirilmiş Mal...	Wiper	Negatif Silici Uç	Finiş İşleme Silici ...	Ağır Darbeli Kesme ...	KB5630	Aktif
Sertleştirilmiş Mal...	Normal	Pozitif Uç	Hassas Finiş İşle...	Değişken Kesme ...	KB1625	Aktif
Çelik	Normal	Negatif Uç	Kaba İşleme (-RN)	Hafif Darbeli Kes...	KC9125	Aktif
Paslanmaz Çelik (...)	Wiper	Negatif Silici Uç	Finiş İşleme Silici ...	Değişken Kesme ...	KC5010	Aktif
Isıl Dirençli Alaşım...	Normal	Pozitif Uç	Orta İşleme (MT-...	Hafif Darbeli Kes...	KC5025	Aktif
Dökme Demir (Gr...	Normal	Negatif Uç	Finiş İşleme (-T-20)	Düz Kesme Önce...	KY3400	Aktif
Dökme Demir (Gr...	Normal	Pozitif Uç	Finiş İşleme (-T-20)	Ağır Darbeli Kesme	KY3500	Aktif
Dökme Demir (Gr...	Normal	Negatif Uç	Orta İşleme (-UN...	Hafif Darbeli Kes...	KC9320	Aktif
Sertleştirilmiş Mal...	Wiper	Negatif Silici Uç	Finiş İşleme Silici ...	Değişken Kesme ...	KB5610	Aktif
Paslanmaz Çelik (...)	Wiper	Negatif Silici Uç	Finiş İşleme Silici ...	Ağır Darbeli Kesme	-	Aktif
Paslanmaz Çelik (...)	Normal	Pozitif Uç	Finiş İşleme (-LF)	Değişken Kesme ...	KC5010	Aktif
Sertleştirilmiş Mal...	Normal	Negatif Uç	Finiş İşleme (-S S...	Ağır Darbeli Kesme	KB1630	Aktif
Dökme Demir (Kü...	Normal	Pozitif Uç	Finiş İşleme (-LF)	Hafif Darbeli Kes...	KC9320	Aktif
Dökme Demir (Gr...	Normal	Pozitif Uç	Finiş İşleme (MT)	Düz Kesme Önce...	KB1345	Aktif
Çelik	Wiper	Negatif Silici Uç	Finiş İşleme Silici ...	Hafif Darbeli Kes...	KC9110	Aktif
Demir Dış Malze...	Normal	Negatif Uç	Orta İşleme (-MS)	Hafif Darbeli Kes...	KC5410	Aktif
Demir Dış Malze...	Normal	Pozitif Uç	Orta İşleme (GT-...	Ağır Darbeli Kesme	KC5410	Aktif
Çelik	Wiper	Negatif Silici Uç	Orta İşleme Silici (...)	Değişken Kesme ...	KC9110	Aktif
Demir Dış Malze...	Normal	Negatif Uç	Finiş İşleme (GA-...	Ağır Darbeli Kesme	KD1400	Aktif
Dökme Demir (Kü...	Wiper	Negatif Silici Uç	Finiş İşleme Silici ...	Düz Kesme Önce...	KY3400	Aktif

Şekil 4.34. Kalite kodu verilerine ilişkin yazılım ara yüzü.

Şekil 4.35'te malzeme grubu, alt grubu, uç tipi, uç tipi yönü ve geometri işlemleri, kesme koşulları ve standart kalite koduna bağlı olarak veri tabanına katalog bilgilerine göre standart kesme hız bilgilerinin kaydedilmesini ve listelenmesini sağlayan hız belirleme ara yüzü verilmektedir.

Hız Belirleme Ekranı

Malzeme Grubu Seçimi : Çelik Malzeme Alt Grup : Fentik-Martensetik PH Paslanı

Uç Tipi : Normal Uç İşlemi : Hassas Finiş İşleme (FF)

Uç Tipi Yönü : Negatif Uç Hız : MIN=150 MAX=320 ONERILEN=250

Kesme Koşulu : Düz Kesme Önceden İşlenmiş Yüzey

Kalite Kodu : KT315 Yeni Kayıt Sil Kaydet

MALZ_GRUP_ID	MALZ_ALT_GRUP	UC_TIP_ID	UC_TIP_GEO_ID	KESME_KOSUL_I	KESME_KOSUL_P	KALITE_ID	HIZ	SILINDIMI
Demir Dış Malze...	Karbon ve Grafit ...	Normal	Pozitif Uç	Finiş İşleme (GT-...	Hafif Darbeli Kes...	KC5410	MIN=200 MAX=3...	Aktif
Semteliler	Fentik-Martensetik ...	Wiper	Negatif Silici Uç	Finiş İşleme Silici ...	Düz Kesme Önce...	KT1120	MIN=90 MAX=22...	Aktif
Paslanmaz Çelik (...)	Ostenetik Paslan...	Wiper	Negatif Silici Uç	Finiş İşleme Silici ...	Düz Kesme Önce...	KT315	MIN=140 MAX=3...	Aktif
Paslanmaz Çelik (...)	Ostenetik Paslan...	Normal	Pozitif Uç	Hassas Finiş İşle...	Ağır Darbeli Kesme	KC5010	MIN=130 MAX=2...	Aktif
Dökme Demir (Gr...	Gri Dökme Demir ...	Normal	Negatif Uç	Finiş İşleme (FN)	Düz Kesme Önce...	KT315	MIN=170 MAX=4...	Aktif
Çelik	Alaşım Çelikler v...	Wiper	Negatif Silici Uç	Finiş İşleme Silici ...	Hafif Darbeli Kes...	KC9110	MIN=150 MAX=2...	Aktif
Dökme Demir (Kü...	Küresel Grafitli Ko...	Wiper	Pozitif Silici Uç	Orta İşleme Silici (...)	Hafif Darbeli Kes...	KC9315	MIN=130 MAX=3...	Aktif
Demir Dış Malze...	Karbon ve Grafit ...	Normal	Negatif Uç	Orta İşleme (MS)	Değişken Kesme ...	KC5410	MIN=200 MAX=3...	Aktif
Semteliler	Fentik-Martensetik ...	Normal	Negatif Uç	-MX	Değişken Kesme ...	KT1120	MIN=90 MAX=22...	Aktif
Çelik	Fentik-Martensetik ...	Normal	Negatif Uç	Hassas Finiş İşle...	Düz Kesme Önce...	KT315	MIN=150 MAX=3...	Aktif
Semteliler	Orta ve Yüksek ...	Wiper	Negatif Silici Uç	Finiş İşleme Silici ...	Düz Kesme Önce...	KT1120	MIN=125 MAX=2...	Aktif
Isıl Dirençli Alaşım...	Tiyanum ve Tita...	Normal	Pozitif Uç	Hassas Finiş İşle...	Ağır Darbeli Kesme	KC5025	MIN=15 MAX=8...	Aktif
Demir Dış Malze...	Karbon ve Grafit ...	Normal	Negatif Uç	Orta İşleme (MS)	Hafif Darbeli Kes...	KC5410	MIN=200 MAX=3...	Aktif
Demir Dış Malze...	Fosforlu Litany...	Normal	Negatif Uç	Finiş İşleme (MS...	Hafif Darbeli Kes...	KD1405	-	Aktif
Sertleştirilmiş Mal...	Sertleştirilmiş Çelik...	Wiper	Negatif Silici Uç	Finiş İşleme Silici ...	Düz Kesme Önce...	KY4400	MIN=45 MAX=2...	Aktif
Isıl Dirençli Alaşım...	Demir Esaslı Isıl ...	Normal	Negatif Uç	Kaba İşleme (RP)	Ağır Darbeli Kesme	KC9245	MIN=10 MAX=5...	Aktif
Semteliler	Alaşım Çelikler v...	Normal	Negatif Uç	-FX	Değişken Kesme ...	KT1120	MIN=125 MAX=2...	Aktif
Çelik	Fentik-Martensetik ...	Normal	Negatif Uç	Orta İşleme (MN)	Ağır Darbeli Kesme	KC9140	MIN=100 MAX=1...	Aktif
Dökme Demir (Kü...	Küresel Grafitli Ko...	Normal	Negatif Uç	Finiş İşleme (FN)	Değişken Kesme ...	KT315	MIN=180 MAX=3...	Aktif
Isıl Dirençli Alaşım...	Kobalt Esaslı Isıl ...	Normal	Pozitif Uç	Hassas Finiş İşle...	Ağır Darbeli Kesme	KC5025	MIN=10 MAX=5...	Aktif
Isıl Dirençli Alaşım...	Tiyanum ve Tita...	Normal	Negatif Uç	Finiş İşleme (FS)	Ağır Darbeli Kesme	KC5525	MIN=15 MAX=8...	Aktif
Demir Dış Malze...	MM'ler (Alüminy...	Normal	Pozitif Uç	Hassas Finiş İşle...	Ağır Darbeli Kesme	KD1400	MIN=400 MAX=7...	Aktif
Sertleştirilmiş Mal...	Sertleştirilmiş Çelik...	Wiper	Negatif Silici Uç	Finiş İşleme Silici ...	Hafif Darbeli Kes...	KB5610	MIN=75 MAX=2...	Aktif

Şekil 4.35. Kesme hız verilerine ilişkin yazılım ara yüzü.

Tezgah denetim yazılımı ara yüzü kullanılarak, hazırlanan malzeme veri tabanından referans imalat bilgilerini listeleyen ve bu sayede kullanıcıya standart kesme hızı ve bilgisi sunan ara yüz Şekil 4.36'da verilmektedir.

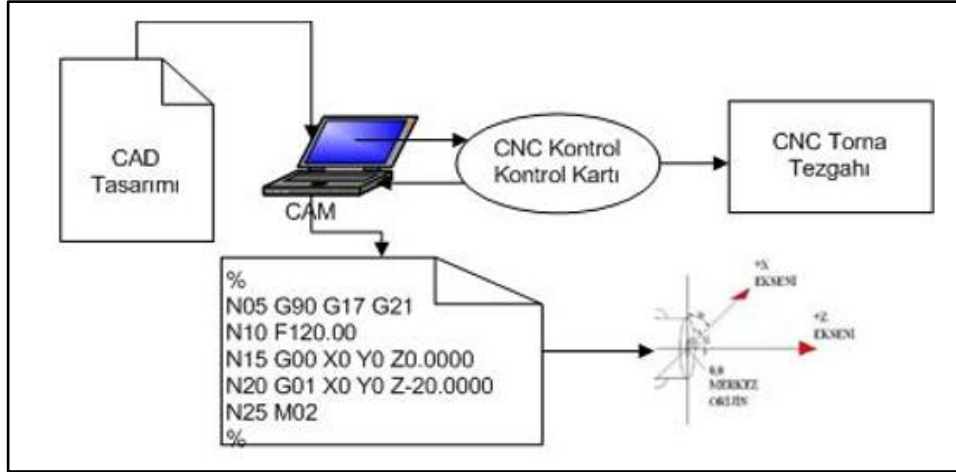
Şekil 4.36. İş parçasına ait referans kesme hızının belirlenmesi için hazırlanan yazılım ara yüzü.

Şekil 4.37’de üretilmek istenen parçaya özgü, bilinen iş parçasının çapı ve veri tabanı yazılımı ile elde edilen kesme hız değerleriyle, imalat işlemi için iş mili motoru referans devir sayısı değeri (Bkz. Eşitlik 3.1) hazırlanan yazılım ara yüzü ile kullanıcıya sunulmaktadır.

Şekil 4.37. Kesme hızına ve iş parçası çapına bağlı olarak devir sayısı hesaplama yazılım ara yüzü.

4.2.4. CAM Yazılımı Ve Eksen Hareketleri

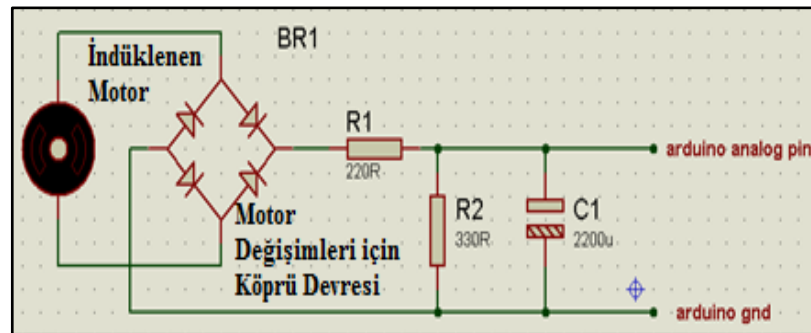
Tezgah denetimi ve Durum İzleme yazılımıyla paralel çalışabilen , eksen hareketlerini sağlayan adım motorlarının, imalatın tasarımı için hazırlanmış NC kodlarıyla yürütülmesi ve planlanan imalatın uygulanması için sisteme USB portu ile bağlanan MK1 kontrol kartı ve paket yazılımı kullanılmaktadır. Tezgahın işletilmesi için gerekli NC kodları, bilgisayar üzerindeki USB CNC paket yazılımı ile yorumlanarak MK1 kontrol kartına gönderilmiştir. Bu sayede MK1 kontrol kartıyla tezgaha bağlı adım motorlar (X, Z Eksenleri) eş zamanlı olarak kontrol edilmektedir. Şekil 4.38’de tasarımın uygulanmasını gösteren blok şeması verilmektedir.



Şekil 4.38. CAM ile tasarımın imalata uygulanmasına ilişkin blok şeması.

4.2.5. İş Mili Motoru Devir Sayısı Ölçüm Yöntemi

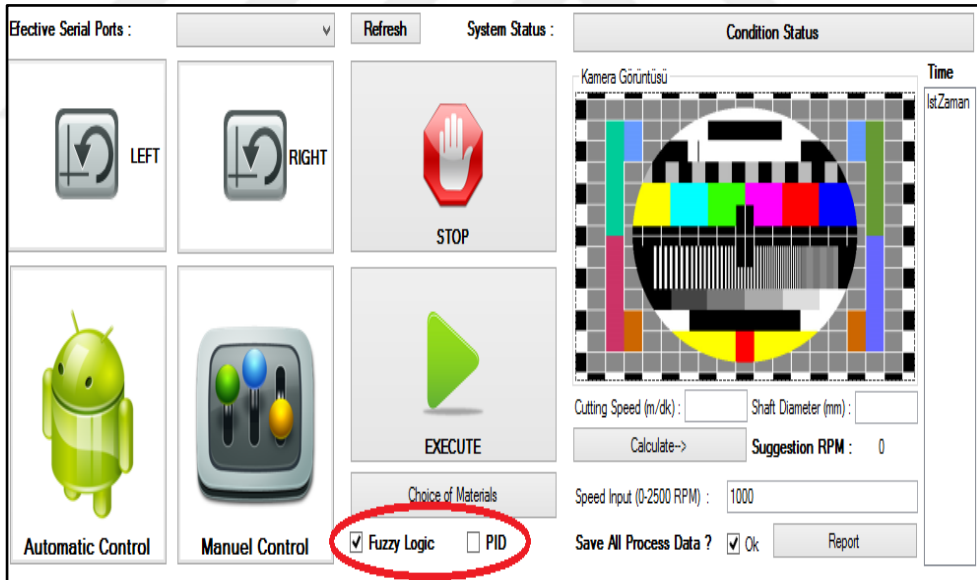
İş mili motoru devir sayısı bilgisi manyetik devir algılayıcısı ile mikrodenetleyici üzerinden yükselen kenar değişikliklerine frekans belirleme yöntemiyle hesaplanmaktadır. Ek olarak sistem veri trafiği düşünüldüğünde devir sayısı bilgisinin sayma işleminde gecikmelere uğraması ve darbe yakalamadaki istisnai hata durumları göz önüne alındığında anlık devir sayısı bilgisi veri doğruluğu için hız kutusu dişlilerine bağlanan ek bir motorun, iş mili motor tarafından indüklenmesi sonucu oluşan gerilimin analog olarak okunması sağlanmıştır. Mikrodenetleyici giriş gerilimine göre gerilim bölücü ve motor yönüne değişimlerine göre ise diyot devreleri kullanılarak, anlık analog devir sayısı verileri okunmaktadır. Şekil 4.39'da iş mili motoru devir bilgisi ölçüm devresine ilişkin çizim verilmektedir.



Şekil 4.39. Devir bilgisi ölçüm devresi.

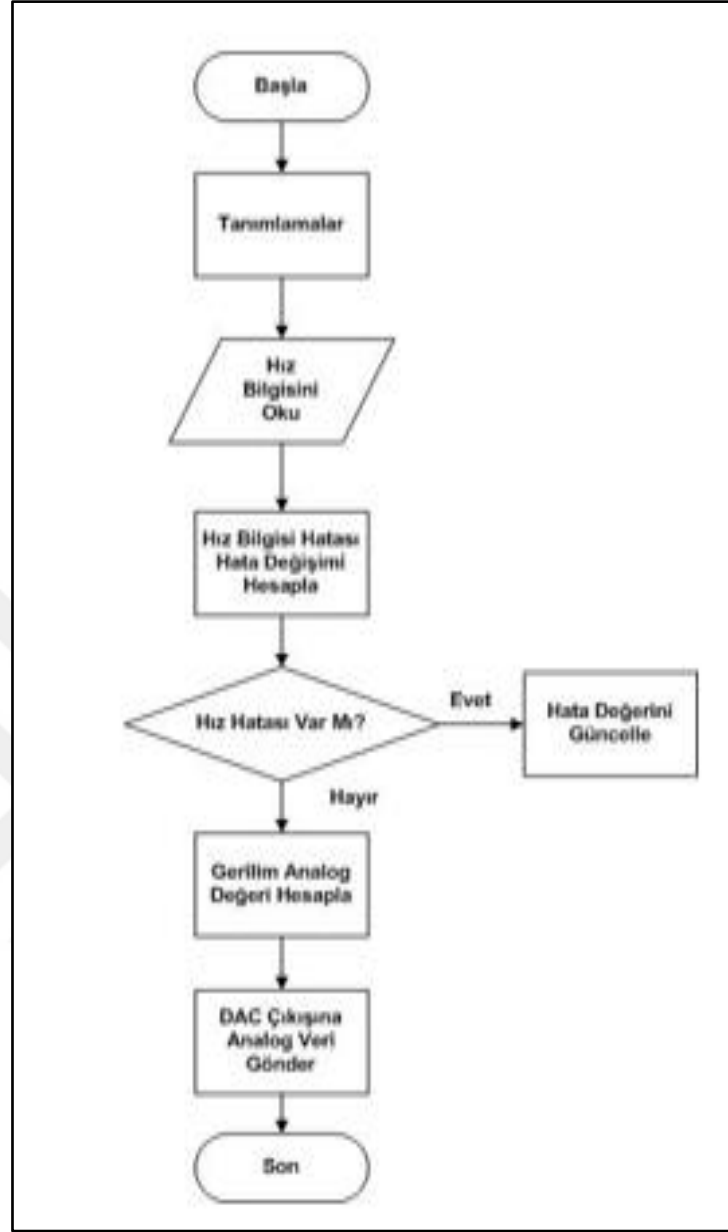
4.2.6. İş Mili Motoru Hız Denetim Yöntemleri

Geliştirilen tezgah sistemi, hazırlanan grafiksel ara yüze sahip bir denetim yazılımı ve ya tezgah sistemi üzerindeki elektronik bir ünite üzerinden yürütülebilmektedir. Yazılım ara yüzüyle, tezgah iş mili motorunun dönüş yönü seçilerek, bilgisayar sistemi üzerinden motorun çalıştırılması ve durdurulması sağlanmaktadır. Ara yüzde bulunan manuel seçeneği ile bilgisayar bağlantısı olmaksızın operatöre çalıştırma, durdurma ve hız ayarlamalarını sistem üzerinde geliştirilen elektronik bit ünite yardımıyla yapılabilme imkanı sunulmuştur. Otomatik seçeneği ile iş mili motorunun ara yüz üzerinde girilen referans devir sayısına bağlı olarak PID ve BM denetleyicileri ile hız denetimi uygulanmaktadır. Otomatik denetim ve bilgisayar bağlantılı manuel denetim seçeneklerinde yazılım ara yüzü ile iş mili motorundan alınan devir, akım algılayıcı verileri gerçek zamanlı olarak izlenebilmektedir. Şekil 4.40'ta Durum İzleme Sistemi ara yüzü üzerinde denetleyici yöntemi seçimi verilmektedir.



Şekil 4.40. Denetim yöntemi seçimine ilişkin yazılım ara yüzü.

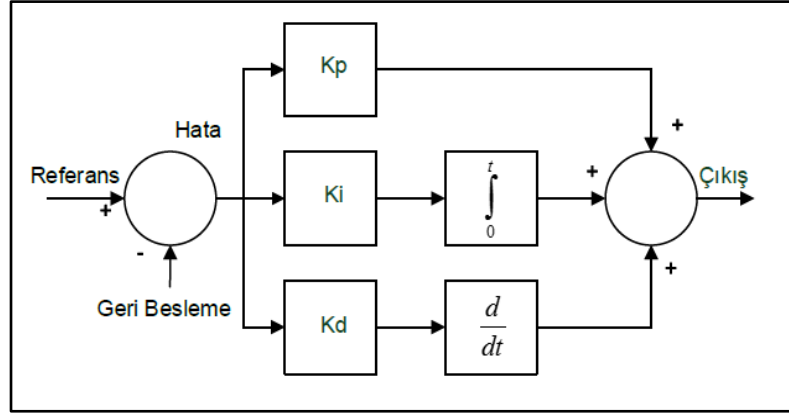
Bu iki gömülü yazılımda temel mantıklar aynı olup, geri besleme bilgilerinin işlenmesi ve çıkış değerlerinin belirlenmesinde farklı hesaplamalar yapılmaktadır. Şekil 4.41'de iş mili motor denetimine ait gömülü denetim yazılımı akış şeması verilmektedir.



Şekil 4.41. Gömülü denetim yazılımı akış şeması.

4.2.6.1. PID İle Hız Denetimi Yöntemi

Endüstride uzun yıllardır DA motor hız denetimlerinde genellikle PID kontrolcü kullanılmaktadır. PID, Proportional (Oransal), Integral (İntegral), Derivative (Türevsel), üç parametresi de birbirlerinden bağımsız olarak ayarlanabilen yaygın bir denetleyicidir. PID kontrolcü, karakteristiği bilinen lineer sistemlerde etkin çalışmaktadır [47]. PID denetleyicisine ait blok diyagramı Şekil 4.42’de verilmektedir.



Şekil 4.42. PID ile hız denetimi yöntemine ait blok diyagramı.

PID denetimde katsayıların belirlenmesi, denetleyici tasarımında önemli bir etkidir. Katsayıların belirlenmesinde birçok yöntem geliştirilmiştir. Bunlar arasında PID ile hız denetimine ait parametrelerin hesaplanmasında en çok tercih edilen yöntem Ziegler-Nichols olurken, en eski yöntem ise Cohen-Coon yöntemidir [48]. Çalışmamızda hız denetimde kullanılan PID denetleyicisine ilişkin, optimum katsayılar deneme yanılma yöntemiyle belirlenmiştir. Kapalı çevrim sistemlerde denetleyicinin etkisi K_p , K_i ve K_d kazançları olarak isimlendirilerek Çizelge 4.1' de açıklanmaktadır. Yüksek seçilen K_p katsayısı sistemin yükselme zamanının yüksek değerde oluşmasına ve hatanın giderilme zamanının uzamasına neden olmaktadır. Böylece yüksek olarak uygulanan K_p katsayısı salınımlara ve sistemin kararsız bir hal almasına neden olmaktadır.

Çizelge 4.1. PID denetleyici parametrelerinin etkileri.

Parametreler	Kazanç	Yükselme Zamanı	Aşım	Oturma Zamanı	Kalıcı Durum Hatası
Oransal	K_p	Azaltır	Arttırır	Biraz arttırır	Azaltır
İntegral	K_i	Biraz Azaltır	Arttırır	Arttırır	Yok eder
Türev	K_d	Biraz Değiştirir	Azaltır	Azaltır	Az etkiler

Anlık hataların toplamını ifade eden İntegral katsayısı (K_i) hata büyüklüğü ve hatanın süresi ile orantılı olarak çıkış üretmektedir. K_i katsayısına integral kazanç sabiti adı verilmektedir. Eğer K_i katsayısı çok yüksek seçilirse istenilen referans noktasından

taşmalar oluşabilmektedir. Türev katsayısı K_d hatanın zamanla değişimi olarak ifade edilmektedir. Bu hata değişim değeri K_d katsayısı ile çarpılarak denetleyici çıkışına eklenmektedir. Türev terimi denetleyici çıkışının değişim hızını yavaşlatmaktadır. Ayrıca mevcut değer istenilen referans değerini aşma miktarını azaltarak sistemin daha kararlı çalışmasını sağlar. Bu değer yüksek belirlendiğinde denetleyicinin gürültülere karşı duyarlılığı artmaktadır. Bu durum sistemin kararsız bir hal almasına sebep olabilmektedir.

Kapalı çevrim kontrol algoritmaları arasında yer alan PID hız denetiminde denetleyici çıkış değeri, anlık hata değeri, hatanın integral değeri ve hatanın türev değerlerinin her birinin ayar sabitleri ile çarpılmasıyla hesaplanmaktadır. Eşitlik 4.1'de $o(t)$ ile gösterilen kontrol çıkışını hesaplamak için hata, integral ve türev parametre değerleri kullanan PID algoritmasına ait matematiksel eşitlik verilmektedir [49].

$$o(t) = K_p \cdot hata(t) + K_i \cdot \left(\int_0^t hata(\tau) d\tau \right) + K_d \cdot \left(\frac{dhata(t)}{dt} \right) \quad (4.1)$$

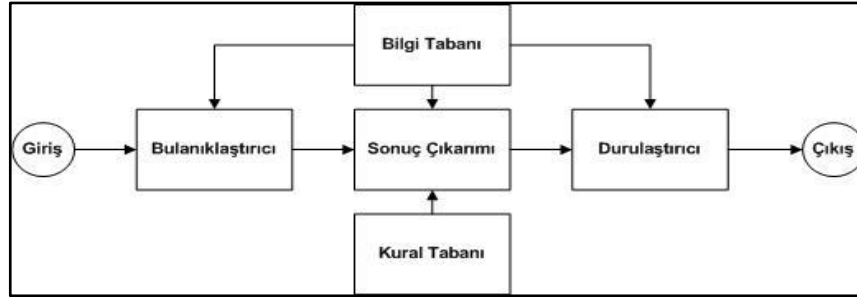
Bu çalışmada iş mili motoruna uygulanan PID hız denetimi yöntemi, BM yöntemiyle imalat işlemine enerji tüketimi ve yüzey pürüzlülüğü bakımından etkilerinin karşılaştırılması ve analiz edilmesi için uygulanmıştır. PID ile hız denetiminde K_p , K_i ve K_d katsayıları, mevcut sisteme en uygun olarak 0,1; 0,001; 0,0001 olarak uygulanmıştır. Mikrodenetleyici üzerinde gömülü olarak yazılmış, iş mili motoruna ait PID hız denetimi yazılım bloğu aşağıda verilmektedir.

```
double kp=0.1, ki=0.001, kd=0.0001;
void PID_Calistir (int DevirDeger)
{
    hata= refDevirDeger -Devirdeger;
    turev_hata= hata-eskihata;
    integral_hata=hata+integral_hata;
    cikis = cikis +hata*kp +integral_hata*ki + turev_hata*kd;
    eskihata=hata;
}
```


4.2.6.2. BM İle Hız Denetimi Yöntemi

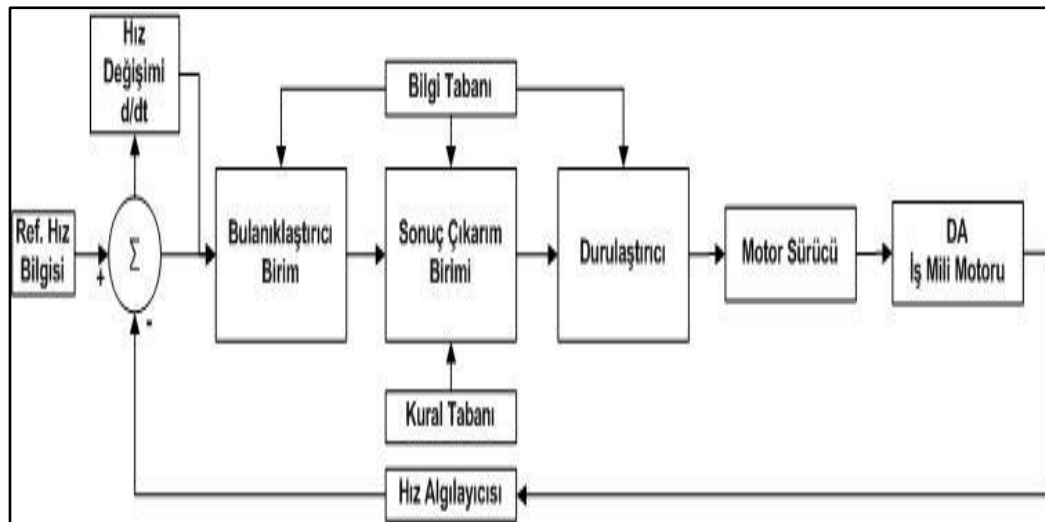
Endüstriyel bir süreç denetiminde; sistem kararlılığının sağlanması, kolay onarılabılır ve güncellenebilir olması, sistemin performansını istenen seviyeye yükseltmesi, yatırım ve işletme açısından düşük maliyetli olması beklenmektedir. Bu koşulların gerçekleştirilebilmesi için denetlenecek sistemin yapısının ve dinamik özelliklerine bağlı olarak matematiksel modellenmesi ihtiyaç duyulmaktadır. Fakat bazı sistemlerin matematiksel modellemesi mümkün olamamaktadır. Sistemin değişkenleri matematiksel modelleme yapılabilecek kadar kesin olarak bilinmeyebilir veya bu değişkenler zaman içinde değişiklik gösterebilmektedir [50]. Yapay zeka yöntemleri arasında yer alan BM yaklaşımı, ilk olarak 1965 yılında Lotfi A. Zadeh tarafından tanıtılmıştır [51]. Bu yaklaşım, sayısal ifadeler yerine sembolik ifadeler kullanarak, makineler insanlara özgü verileri kullanabilme ve uzman deneyimlerinden yararlanarak çalışabilme yeteneği kazandırmaktadır. BM ile hız denetimi yöntemi algoritmaları uygulanırken sistemin matematiksel modellenmesi şart değildir. Sözel ifadelerin bilgisayar aktarılması matematiksel bir temele dayanmaktadır. Bu matematiksel temel, bulanık kümeler kuramı ve BM olarak adlandırılmaktadır. BM, (0,1) olarak iki seviyeli bilinen Aristo mantığı yerine, [0,1] aralığındaki birçok seviyeyi ifade etmektedir. Özellikle sistemin karmaşık olduğu ve analizinin klasik yöntemlerle yapılamadığı ve bilgilerin niteliklerinin belirsiz veya kesin olmadığı durumlarda BM denetim yöntemi çok uygun olmaktadır. Belirsizlik kavramının değerlendirilmesini amaçlayan bulanık mantığın temeli bulanık kümelerle dayanmaktadır. Bulanık küme kavramında sözel ifadelerin matematiksel olarak gösterimi ifade edilmektedir. Klasik küme kavramının genişletilmiş hali olan bulanık kümelerde her eleman farklı değerlere sahip diğer kümelerle dâhil olmasına izin verilebilmektedir [51]. Matematiksel anlamda bulanık küme elemanlarına farklı üyelik dereceleri verilerek, üyelik fonksiyonları tanımlanmaktadır [51]. Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde en çok kullanılan yöntem uzman bilgisidir. Uzman bilgisiyle kümelerin elemanlarına ait derecelendirilmeler belirlenerek analitik olarak ifade edilmesi sağlanmaktadır. Üyelik fonksiyonları çeşitlerinden en çok bilinenler üçgen, yamuk, Gauss, s ve z şeklinde bulanık sistemlerde işlem görebilmektedir. Genel olarak BM sistemler ayrı ayrı bilgi tabanı, kural tabanı, bulanıklaştırma birimi,

sonuç çıkarma birimi, durulama biriminden oluşmaktadır [52]. Şekil 4.43'te BM denetim yöntemine ait blok diyagramı verilmektedir.



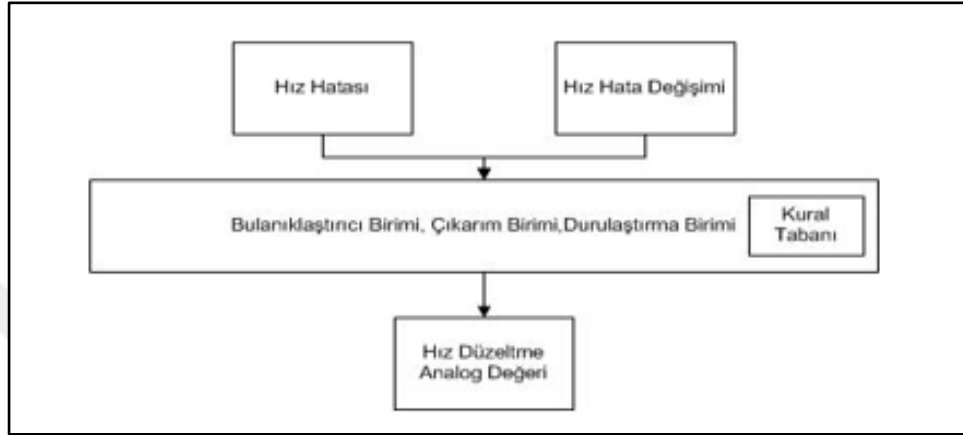
Şekil 4.43. BM ile hız denetimine ilişkin blok diyagramı.

Bulanıklaştırıcı girişteki ölçülebilen değerlerin, uygun sözel değişkenlere dönüştürüldüğü birimdir. Bulanıklaştırıcı birimde her bir giriş kümesine ait üyelik dereceleri atanarak bulandırma işlevi yapılmaktadır. Bulanık kural tabanı ise uzman bilgisine dayanarak girişler ve çıkış arasındaki ilişkilerin tanımlandığı “eğer, ise o halde” mantığıyla oluşturulan bilgilerin yer aldığı birimdir. Sonuç çıkarım biriminde kural tabanına bağlı olarak, giriş üyeliklerine farklı yöntemler uygulanarak çıkış üyelik fonksiyonunda sonuç kümesinin belirlenmesini yöneten birimdir. Durulama birim ise çeşitli yöntemlerle sözel ifadelerin kesin değerlere dönüştürülerek çıkış sinyalini üreten birimdir [50]. Şekil 4.44'te çalışmamızda iş mili motoru BM hız denetimini sağlayan blok diyagramı verilmektedir.



Şekil 4.44. BM ile iş mili motoru hız denetimi blok diyagramı.

Şekil 4.44'te görüldüğü üzere BM ile hız denetimi yönteminde, hız hatası (e) ve hız hatasındaki değişimin (de) giriş parametresi olarak sisteme verilmesi gerekmektedir. BM hız denetimi hata ve hata değişimi bilgilerinin üyelik fonksiyonları tanımlandığı bulanıklaştırma işlemine sokularak başlatılmaktadır. Şekil 4.45'te iş mili motoru için tasarlanan BM ile hız denetim yöntemine ilişkin modeli verilmektedir.



Şekil 4.45. Tezgah iş mili motoru için tasarlanan BM ile hız denetimi yöntemi çalışmasına ilişkin blok şema.

BM ile hız denetimi yönteminde kullanılan giriş ve çıkış değerleri için; [-10,10] evrensel kümesi içerisinde tanımlanan 7 sözel değişken Çizelge 4.2'de verilmektedir.

Çizelge 4.2. BM ile hız denetimi yönteminde üyelik fonksiyonları için kullanılan giriş ve çıkış sözel değişkenleri.

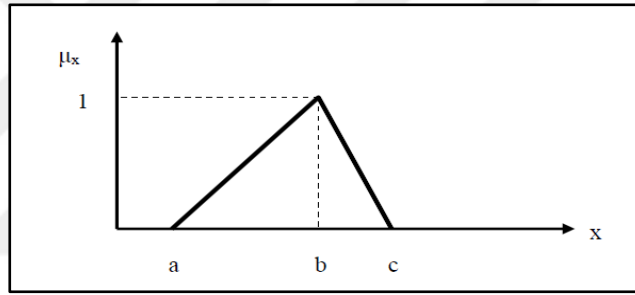
Sözel Değişken	Kısaltma
Negatif Büyük	NB
Negatif Küçük	NK
Negatif Orta	NO
Sıfır	S
Pozitif Küçük	PK
Pozitif Orta	PO
Pozitif Büyük	PO

Sistem giriş ve çıkış değişkenlerinin sözel değişkenler ve tipleri Çizelge 4.3'te verilmektedir.

Çizelge 4.3. Sistem giriş/çıkış değişkenlerinin bulanık sözel değişkenleri.

Değişken Adı	Tipi	Bulanık Sözel Değişkenler
Hız Hata	Giriş	NB, NK, NO, S, PK, PO, PB
Hız Hata Değişimi	Giriş	NB, NK, NO, S, PK, PO, PB
Hız Düzeltme Analog Değeri	Çıkış	NB, NK, NO, S, PK, PO, PB

Çalışmamızda uygulamadaki hesaplama verimliliğinden dolayı BM ile hız denetimi yönteminde giriş parametreleri olan devir sayısı hatası ve anlık hata değişimine ait değerlerin ve çıkışı ifade eden gerilim analog değerlerin derecelendirilmesinde üçgen üyelik fonksiyonları kullanılmaktadır. Şekil 4.46’da verilen üçgen şeklindeki üyelik fonksiyonunun çıkış değeri a, b, c ile derecelendirme parametrelerine göre Eşitlik 4.2’de verilen bağıntılar ile elde edilmektedir.



Şekil 4.46. Üçgen şeklindeki örnek bir üyelik fonksiyonu.

$$f_{onk}(a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ (x - a)/(b - a), & a < x \leq b \\ (c - x)/(c - b), & b < x \leq c \\ 0, & c < x \end{cases} \quad (4.2)$$

BM hız denetleyicisi üyelik fonksiyonlarının tanımlanmasında kullanılan min ve max evrensel küme kısıtları Çizelge 4.4’te verilmektedir.

Çizelge 4.4. BM denetleyicisine ilişkin giriş sözel değişkenlerine ait özellikler.

Giriş Değişkeni	Min.	Max.	Birimi	Bulanıklaştırma
Hız Hatası	-10	+10	Analog Değer (0-1023)	Üçgen Şeklinde Üyelik Fonksiyonu
Hız Hata Değişimi	-10	+10	Analog Değer (0-1023)	Üçgen Şeklinde Üyelik Fonksiyonu

Giriş ve çıkış sözel değişkenlerine ait birimler ve bulanıklaştırma biriminde kullanılan giriş ve çıkış üyelik fonksiyonlarına ait özellikler Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5'te verilmektedir.

Çizelge 4.5. BM denetleyicisine ilişkin çıkış sözel değişkenine ait özellikler.

Çıkış Değişkeni	Min.	Max.	Birimi	Durulama
Hız Düzeltme Analog Değeri	-10	+10	Analog Değer (0-1023)	Alan Ağırlık Merkezi

BM denetleyicisine ait giriş ve çıkış değişkenlerinin bulanıklaştırılmasına ilişkin matematiksel ifadeler ve değişkenler için belirlenen kısıt değerleri Çizelge 4.6'da verilmektedir.

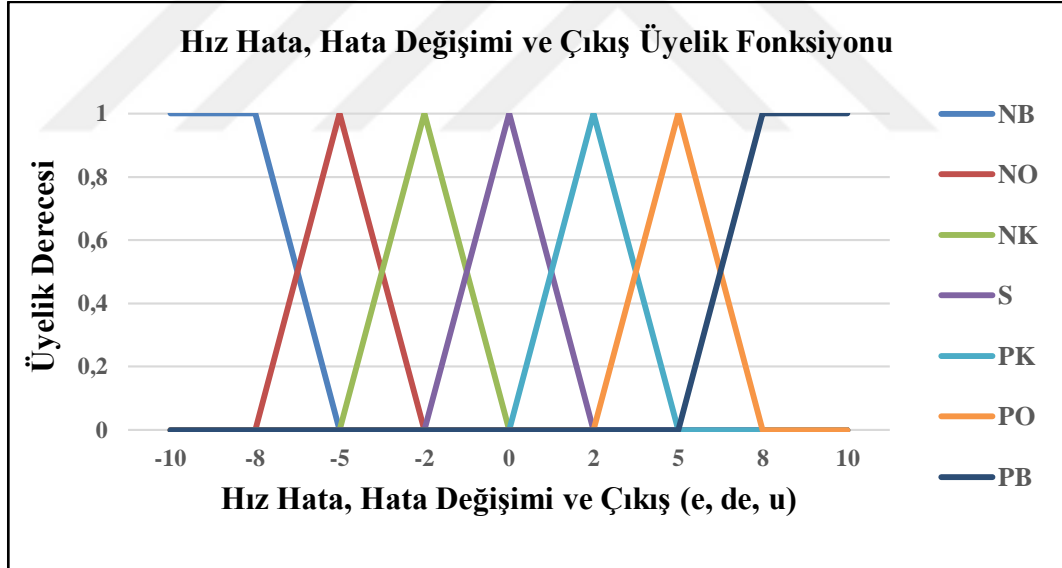
Çizelge 4.6. BM denetleyicisi giriş ve çıkış değişkenlerinin bulanıklaştırılması.

Sözel Değişken	Matematiksel İfade	Değişken Aralığı
Negatif Büyük	1	$-10 \leq x < -8$
	$(-5-x)/3$	$-8 \leq x < -5$
	0	$-5 \leq x \leq 10$
Negatif Orta	0	$-10 \leq x < -8$
	$(x+8)/3$	$-8 \leq x < -5$
	$(-2-x)/3$	$-5 \leq x < -2$
	0	$-2 \leq x \leq 10$
Negatif Küçük	0	$-10 \leq x < -5$
	$(x+5)/3$	$-5 \leq x < -2$
	$-x/2$	$-2 \leq x < 0$
	0	$0 \leq x \leq 10$
Sıfır	0	$-10 \leq x < -2$
	$(x+2)/2$	$-2 \leq x < 0$
	$(2-x)/2$	$0 \leq x < 2$
	0	$2 \leq x \leq 10$
Pozitif Küçük	0	$-10 \leq x < 0$
	$(x/2)$	$0 \leq x < 2$
	$(5-x)/3$	$2 \leq x < 5$
	0	$5 \leq x \leq 10$

Çizelge 4.6. (devam ediyor).

Pozitif Orta	0	$-10 \leq x < 2$
	$(x-2)/3$	$2 \leq x < 5$
	$(8-x)/3$	$5 \leq x < 8$
	0	$8 \leq x \leq 10$
Pozitif Büyük	0	$-10 \leq x < 5$
	$(x-5)/3$	$5 \leq x < 8$
	1	$8 \leq x \leq 10$

Hız hata, hatadaki değişim ve çıkış hız hata düzeltme değerlerinin bulanıklaştırılmasında sözel değişkenlerin kısıt değerleri üçgen üyelik fonksiyonları ile evrensel küme içerisinde belirlenmiştir. Şekil 4.47'de Çizelge 4.6'da verilen bulanıklaştırma değerlerine göre belirlenen BM ile hız denetimi yöntemine ilişkin giriş ve çıkış fonksiyonları, üçgen üyelik fonksiyonları şeklinde verilmektedir.



Şekil 4.47. BM denetleyicisi için kullanılan giriş ve çıkış sözel değişkenlerine ilişkin üyelik fonksiyonları.

Kural tabanı; uzmanlar tarafından belirlenerek, BM ile hız denetimi yöntemi davranışlarını tespit eden denetim kurallarını içermektedir. Karar verme işlemlerinde kullanılan birçok paralel kuraldan ve denetim değişkenlerinden oluşmuştur. Bu kurallar, sistemin giriş ve çıkışları arasındaki mantıksal ilişkileri açıklar. BM denetleyicinin çıkışı, durum ve davranış bildiren kuralların değerlendirilmesi ile elde

edilir. Kurallar, sistem değişkenlerinin tanımlandığı “eğer” ve denetim değişkenlerinin tanımlandığı “ise” komutlarıyla oluşturulur. BM ile hız denetimi yönteminde kurallar iki değişik metotla ifade edilir. Bunlar; kural davranışı bulanık kümeler ile ifade edilmiş kurallar veya kural davranışı fonksiyon şeklinde ifade edilmiş kurallardır. Deney sisteminde kullanılan BM kontrolcüsünde kullanılan kurallara ait tablo Şekil 4.48’ de verilmektedir.

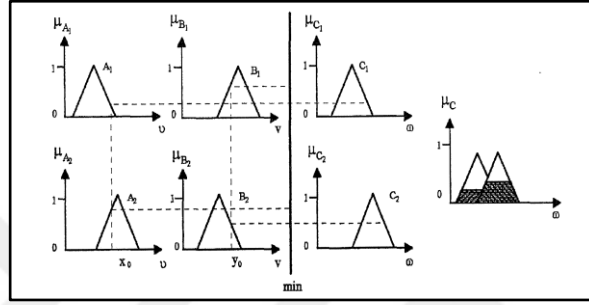
e de	NB	NO	NK	S	PK	PO	PB
NB	NB	NO	NO	NK	S	S	PK
NO	NO	NO	NK	S	S	PK	PK
NK	NO	NK	NK	S	PK	PK	PO
S	NK	NK	S	PK	PK	PO	PO
PK	NK	S	PK	PK	PO	PO	PO
PO	S	PK	PK	PO	PO	PO	PO
PB	S	PK	PO	PO	PO	PO	PB

Şekil 4.48. BM denetleyicisine ilişkin kural tabanı tablosu.

Gerçekleştirilen tüm bulanık çıkarımlar için basit ve sistem yapısına uygunluğundan dolayı Mamdani BM denetleyici modelinin uygulanması, tercih edilmiştir. İlk defa buhar motoru ve kazan uygulamalarında uygulanan ve başarılı sonuçlar üreten İngiliz Prof. Dr. Ebrahim Mamdani tarafından önerilen BM denetleyici modelinde sözel değişkenler denenerek, uzman deneyimleri mantıksal kurallar dizisine dönüştürmektedir. Mamdani BM denetleyici modelinde değişkenlerin sınırlarının belirlenmesinde gerçek aralıkların sonlu sayılara ayrılması ya da gerçek sayıların

yalnızca bir sonlu sayı değeri olarak alınmasına izin verilmektedir. Denetleyici giriş değerlerine bağlı olarak, denetleyici çıkış değerleri “eğer ise o halde” ifadeleri ile belirlenmektedir. Anlık bir zamanda denetleyici çıkışının değerinin belirlenmesinde, kural tabanına bağlı olarak tek bir kural işletilmektedir.

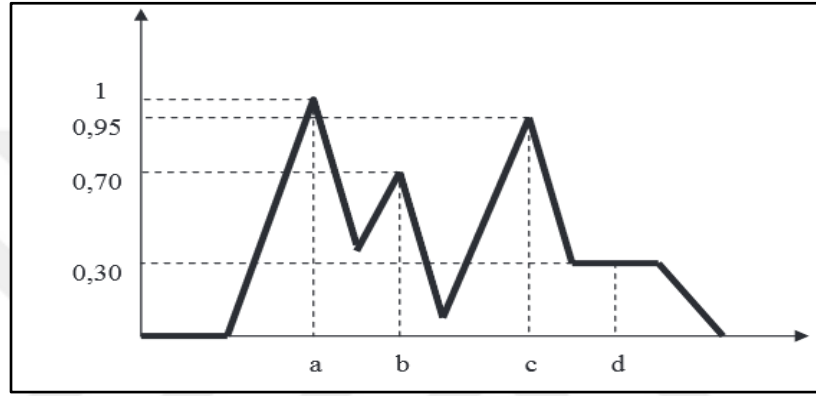
Şekil 4.49’da Mamdani türünden iki-kurallı bir bulanık girişe ait sistemde çıkışın iki girişten elde edilmesi verilmektedir.



Şekil 4.49. Mamdani BM çıkarımına max, min teoremi.

Şekil 4.49’da verilen Mamdani modelinde iki girişli ve iki kurallı bir bulanık sistemi ifade etmektedir. Modelde girişlerinin anlık değerlerine göre üyelik dereceleri, kural tabanındaki her bir kural ile işletilerek, çıkışlar ayrı ayrı belirlenmektedir. Minimum operatöründen geçirilerek elde edilen giriş üyelik fonksiyonlarına bağlı olarak, kural tabanına katılan giriş üyelik dereceleri çıkış üyelik fonksiyonu alanlarını oluşturmaktadır. Çıkış üyelik kümesi en küçük üyelik derecesine göre kadar alanın kırılmasıyla belirlenmektedir. Her bir kural için ayrı ayrı işletilen modelde, kural sayısı kadar çıkışa ait bulanık kümeler oluşmaktadır. Kesin değerlere ulaşmak için elde edilen çıkış bulanık kümesinin birleşimi alınarak durulama işleminden geçirilmelidir. BM denetleyicilerde kural tabanına bağlı olarak çıkarım mekanizması sonucu oluşan alana ait kesin sayısal değerlerin belirlenmesi bulanık bilgilerin durulaştırılması gerekmektedir. Birden fazla üyelik fonksiyonlarına bağlı olarak ortaya çıkan sonuca bulanık çıkarım kümeleri olarak isimlendirilmektedir. Bulanık çıkarım kümeleri sonucunda dışbükey olmayan, birden fazla yerde “1” üyelik değerine ulaşan alanlardan kesin sonuçlar elde edebilmek çeşitli durulama yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler tasarımcının ulaşmak istediği sonuca ve uzmanlar tarafından tavsiye edilen yöntemlere göre belirlenmektedir. Bu yöntemler arasında ağırlıklı ortalama merkezi

yöntemi yaygın olarak kullanılan durulama yöntemidir [50]. Simetrik üyelik fonksiyonlarının kullanılması, sisteme uyumluluğu, yaygın olarak kullanılması ve hesaplama verimliliğinden dolayı çıkarım kümesinin durulama işlemi için ağırlıklı ortalama yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntem çıkarım kümesini oluşturan her bir üyelik fonksiyonunun en büyük üyelik derecesinin bu değere ulaştığı nokta ile çarpılması ile ifade edilmektedir. Şekil 4.50’de verilen çıkış kümesinin durulama işlemi çözüm örneği Eşitlik 4.3’te matematiksel olarak ifade edilmektedir [50].



Şekil 4.50. Ağırlıklı ortalama yöntemi ile durulama.

$$x = \frac{a * 1.0 + b * 0.70 + c * 0.95 + d. 0.30}{a + b + c + d} \quad (4.3)$$

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLAR

Tez çalışması kapsamında, tezgah iş mili motorunun farklı kesme koşullarına bağlı olarak PID ve BM yöntemleriyle hız denetimlerinin test edilmesi ve denetimlerin pürüzlülük ve enerji tüketimi açısından performanslarının karşılaştırılması amacıyla deneyler çalışmalar yapılmıştır. Deneysel çalışmalar Çizelge 5.1’de verilen parametreler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

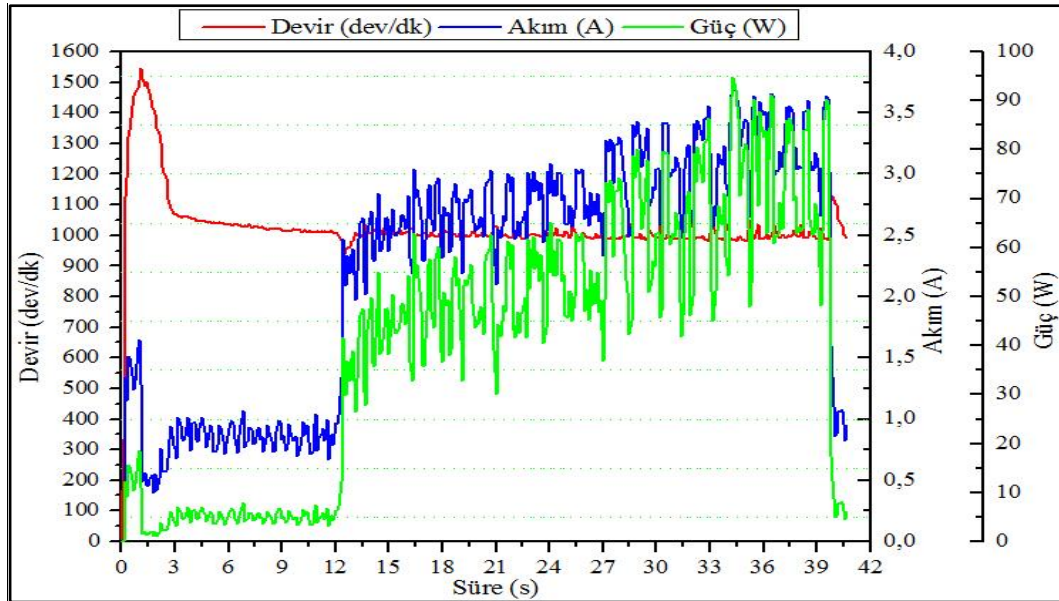
Çizelge 5.1. Deneysel çalışmalara ait genel bilgiler

Kesme Derinliği (mm)	Devir Sayısı (dev/dk)	Kesme Hızı (m/dk)	İlerleme Hızı (mm/dev)	PID	BM
0,5	850	200	0,05	√	√
			0,10		
			0,15		
	1100	260	0,05	√	√
			0,10		
			0,15		
	1359	320	0,05	√	√
			0,10		
			0,15		
	1614	380	0,05	√	√
			0,10		
			0,15		
	1868	440	0,05	√	√
			0,15		

Deneyselerde motordan alınan devir sayısı ve akım karakteristiklerine ait elde edilen değerler grafiksel olarak sunulmuştur. Çizelge 5.1’de referans olarak verilen devir sayıları; malzeme çapına bağlı olarak, Eşitlik 3.1’de verilen matematiksel ifadeyle (Bkz. Eşitlik 3.1) hesaplanmıştır.

Beş farklı kesme hızında, üç farklı ilerleme hızında, sabit kesme derinliğinde (0,5 mm) ve TCGT 16T308-270 kesici takımı kullanılarak gerçekleştirilen deneylerde elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Deneyler sonucunda, hız denetimi yöntemlerinin, işlenen malzemenin yüzey pürüzlülüğüne ve enerji tüketimine etkisi de incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda $\phi 75 \times 100$ mm boyutlarında AA 2XXX serisi malzeme üzerinde, belirlenen kesme hızı ve ilerleme değerleriyle gerçekleştirilen talaş kaldırma işlemi sonrası, işlenen her 10 mm'lik yüzeylerde hız denetimi ve yüzey pürüzlülüğü ölçümleri elde edilmiştir. İşlenmiş yüzeylerin yüzey pürüzlülüğü ölçümleri "Mahr" marka yüzey pürüzlülük ölçme cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Pürüzlülük ölçümleri her 120 derecede bir ölçüm alınmak üzere, çapta üç ölçüm yapıp ortalaması alınarak yüzey pürüzlülük değerleri hesaplanmıştır.

Deneysel çalışmalarımızda kullanılan her bir malzemenin ilk işleme safhasında malzeme çevresinde zamanla dış etkenler sonucu korozyona uğramış veya sertleşen tabakanın deneyleri olumsuz etkilememesi için; malzemedan 0,3 mm derinlikte talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem 1000 dev/dk referans devir sayısında, 0,075 m/dk kesme hızında PID denetimli olarak 100 mm'lik uzunluğa sahip AA 2XXX bir parça boyunca uygulanmıştır. Yüzey sıfırlama işlemi süresince iş mili motoruna ait devir sayısı, akım ve güç verileri Şekil 5.1'de sunulmaktadır.



Şekil 5.1. PID yöntemiyle gerçekleştirilen yüzey sıfırlama işlemine ilişkin devir sayısı, akım ve güç grafiği (1000 dev/dk).

Çizelge 5.3'te PID denetimli olarak, talaş kaldırma işlemi öncesi, anı ve sonrasında, iş mili motorundan alınan ortalama devir sayısı, akım ve güç değerleriyle, her işlem süreci için enerji tüketimi değerleri sunulmaktadır.

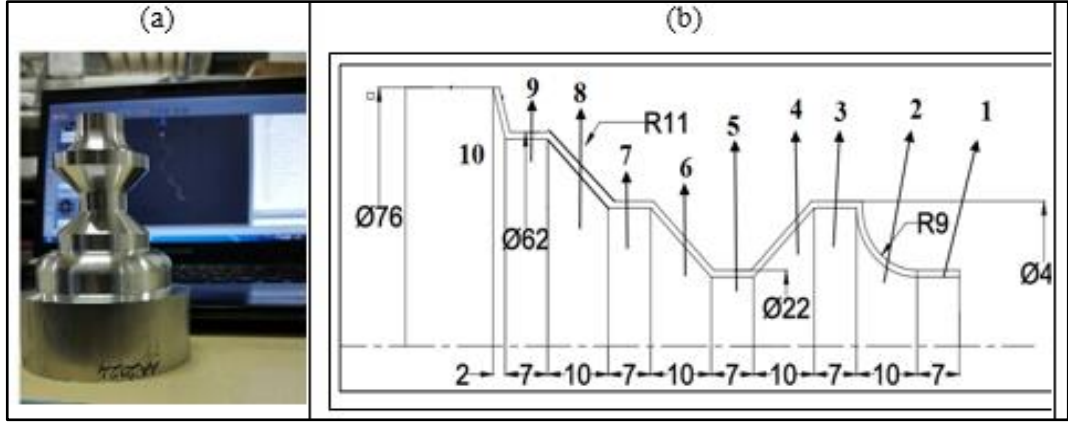
Çizelge incelendiğinde talaş kaldırma anında iş mili motoru üzerinde oluşan zorlanma nedeniyle ortalama akım ve güç değerlerinin artış gösterdiği, ortalama devir sayısının ise referans değerleri yakaladığı gözlenmektedir. Talaş kaldırma işlemi sonunda kesici ucun iş parçasından ayrılmasıyla; zorlanmanın ortadan kalkması sonucu, ortalama devir sayısının yükseldiği, akım, güç ve enerji tüketimi değerlerinin ise düştüğü belirlenmiştir.

Çizelge 5.2. PID denetimli, 1000 devir sayısında (dev/dk), TKÖ, TKA, TKS süreçlerine ilişkin devir sayısı, akım, güç ve enerji tüketimi sayısal verileri.

İşlem Süreci	İşlem Zaman Aralığı (s)		Ortalama Devir Sayısı (dev/dk)	Ortalama Akım (A)	Ortalama Güç (W)	Enerji Tüketimi (Ws)
TKÖ	Başlangıç	0	1094,79	0,86	5,40	65,87
	Bitiş	12,2				
TKA	Başlangıç	12,3	1001,37	2,89	57,92	1592,79
	Bitiş	39,7				
TKS	Başlangıç	39,8	1055,77	1,06	8,05	8,04
	Bitiş	40,7				

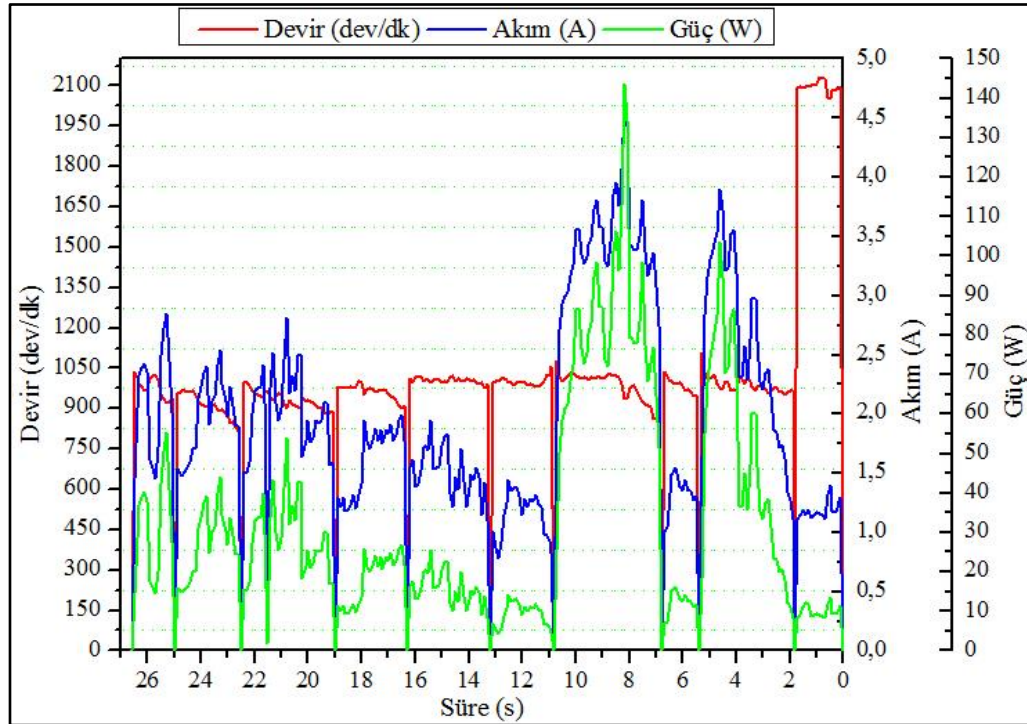
5.1. FARKLI GEOMETRİLERDE İŞLEME (ÖN TEST)

Gerçekleştirilen deneysel çalışmamızda, tezgah sisteminin 10 farklı geometrik yüzeye sahip bir alüminyum malzeme üzerinde, VCGT 160408-270 takım kullanılarak PID denetimli olarak 0,3 mm talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilerek, işleme süresince devir sayısı, akım, güç ve enerji tüketimi değerleri gözlenmektedir. Boyutları Şekil 5.2'de verilen malzemenin işleme sırası sağdan sola doğru artan sıralamayla çizim üzerinde verilmektedir. PID hız denetimi yöntemiyle 1 numaralı yüzeye 2100 dev/dk, diğer yüzeylere ise 1000 dev/dk devir sayısı referans değeriyle uygulanmaktadır. PID yönteminde K_p , K_i ve K_d katsayıları 0,1; 0,001; 0,0001 olarak uygulanmaktadır.



Şekil 5.2. Farklı geometriye sahip malzemenin a) görüntüsü, b) 2 boyutlu çizimi.

Farklı geometriye sahip malzemenin işlenen 10 yüzeyine ilişkin devir sayısı, akım ve güç verileri Şekil 5.3'te, sayısal verileri ise Çizelge 5.3'te verilmektedir. Her bir yüzeye ait işlemlerde alınan verileri grafikte ayırabilmek ve daha belirgin hale getirmek amacıyla; her bir yüzeyin talaş kaldırma işlemi sonuna devir sayısı, akım ve güç değerleri olarak sıfır değeri atanmıştır. PID ile hız denetimi yöntemiyle gerçekleştirilen işleme safhalarının her birinde devir sayısı referans değerlere yerleşmektedir.



Şekil 5.3. Farklı geometride işlenen malzemeye ait devir, akım, güç grafiği.

Çizelge 5.3. Farklı geometrilere sahip malzeme üzerinde TKA'da elde edilen akım, güç ve enerji tüketimine ilişkin sayısal veriler.

Yüzey Numarası	İşleme Süresi (s)	Ortalama Akım (A)	Ortalama Güç (W)	Enerji Tüketimi (Ws)
1	1,7	1,21	10,09	17,15
2	3,5	2,58	49,17	172,11
3	1,3	1,34	12,36	16,07
4	6,8	3,42	80,97	315,78
5	2,2	1,15	9,33	21,45
6	3	1,51	15,82	47,45
7	2,6	1,62	18,38	47,79
8	3,4	2,0	28,52	96,98
9	2,4	1,97	27,13	65,10
10	1,5	2,12	32,13	48,20

Çizelge incelendiğinde, Şekil 5.2'de iki boyutlu teknik çizimi verilen malzeme üzerinde, talaş kaldırma işlemlerinin aynı çap kalınlığında gerçekleştiği 5, 1, 3, 7, 9 numaralı yüzeylerde, eğimli ve dairesel yüzeylere göre daha düşük akım, güç ve enerji harcandığı gözlenmektedir. Bu yüzeylerin işleme süresi sabit devir sayısı ve ilerleme hızıyla gerçekleştiğinden, talaş kaldırma işlemleri diğer yüzeylere göre daha kısa sürede tamamlanmaktadır. 6, 10 ve 8 numaralı eğimli yüzeylerde gerçekleşen talaş kaldırma işlemlerinde ise, kesici takımın malzemedan ayrılması esnasında karşılaştığı sürtünme kuvvetinin, dalma işlemi gerektiren 2 ve 4 numaralı yüzeylere göre daha az olması nedeniyle akım, güç ve enerji tüketimi açısından daha düşük değerlere ulaşılmaktadır. Farklı geometrik yüzeylere sahip malzeme üzerinde gerçekleşen deneyler sonucu akım, güç ve enerji tüketimi açısından en yüksek değerler 4 ve 2 numaralı yüzeylerde gerçekleşmektedir.

5.2. PID DENETİMLİ DENEYSSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARI

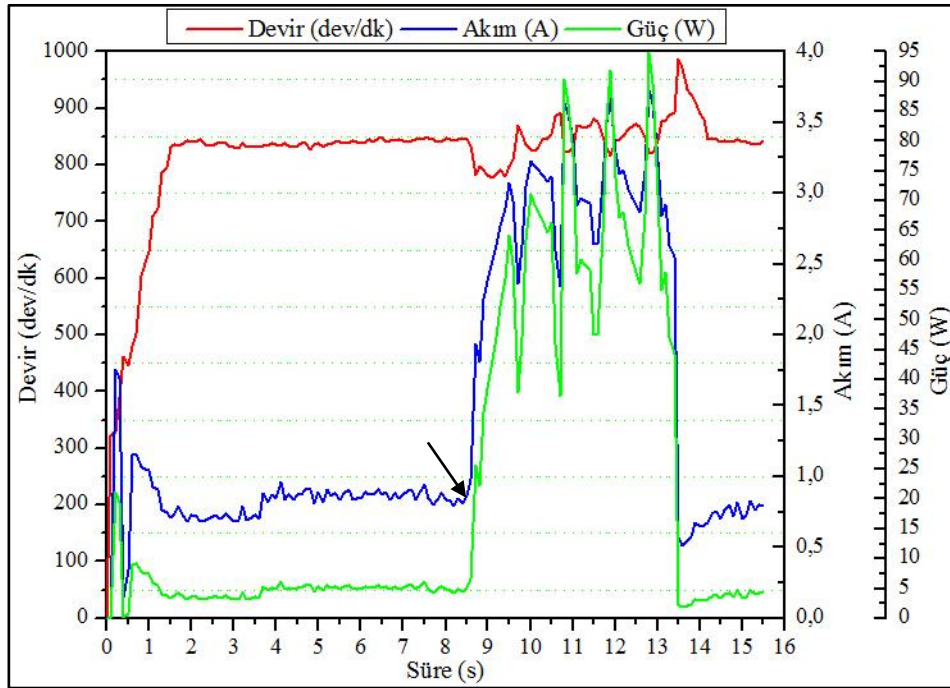
PID denetimli deneysel çalışmalarda, iş mili motoruna 850, 1100, 1359, 1614 ve 1868 dev/dk referans devir sayılarında, K_p , K_i ve K_d katsayıları 0,1; 0,001; 0,0001 seçilerek hız denetimleri uygulanmıştır. İş mili motoru için belirlenen her referans devir sayısı için 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarıyla, talaş kaldırma işlemleri

gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen deneylerde gerçek zamanlı olarak alınan devir sayısı, akım ve güç verileri grafiksel olarak sunulmaktadır. Deneylere ilişkin talaş kaldırma öncesi, anı ve sonrasında alınan devir sayısı, akım, güç ve enerji tüketimi ortalama değerleriyle, hız denetiminde gözlenen yükselme, aşma ve yerleşme sayısal verileri çizelgelerde ayrıntılı olarak verilmektedir.

5.2.1. PID Yöntemi İle 850 Devir Sayısı (dev/dk) Ve 0,05, 0,1, 0,15 (mm/dev) İlerleme Hızlarına İlişkin Deneyler

İş mili motorunun PID denetimli olarak 850 dev/dk referans devir sayılarında ve bu devir sayıları için kesici takıma uygulanan 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarına ilişkin gerçekleştirilen talaş kaldırma deneyleri Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6’da verilmektedir. Deneylere ilişkin sayısal veriler Çizelge 5.4’te sunulmaktadır.

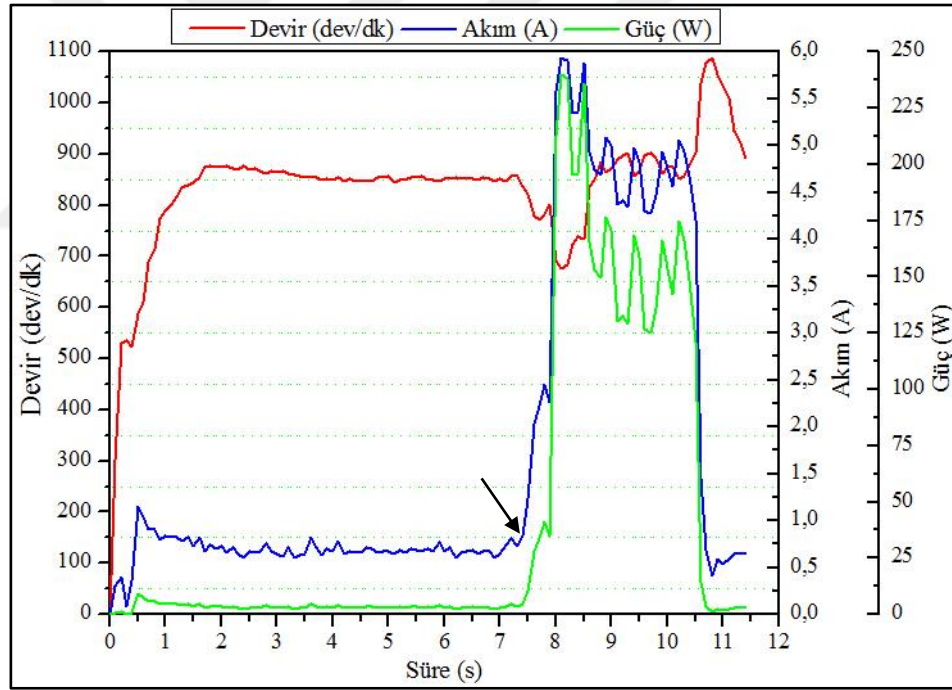
Şekil 5.4’te 850 dev/dk referans devir sayısı ve 0,05 mm/dev ilerleme hızına ilişkin talaş kaldırma işlemi boyunca iş mili motorundan alınan devir sayısı, akım ve güç verileri grafiksel olarak verilmektedir.



Şekil 5.4. PID denetimli, devir, akım, güç grafiği (850 dev/dk, 0,05 mm/dev).

Şekil 5.4'te verilen grafik incelendiğinde, motor akımının 0,2 saniyelik periyotta 1,76 A seviyelerine yükseldiği, talaş kaldırma işlemine 8,7'nci saniyede geçilmesiyle, kesici ucun iş parçası üzerinde talaş kaldırma işlemi gerçekleştirmesi nedeniyle oluşan zorlanma sonucu iş mili motorundan alınan akım ve güç değerlerinin artış gösterdiği, devir bilgisine ait ortalama değerlerin ise referans değerleri yakaladığı ve kesici ucun iş parçasından ayrılmasıyla, iş mili motoru ortalama akım değerinin 2,94 A seviyelerinden 0,7 A seviyelerine ve güç değerlerinin ise 60,02 W seviyelerinden, 3,43 W seviyelerine düştüğü gözlenmektedir.

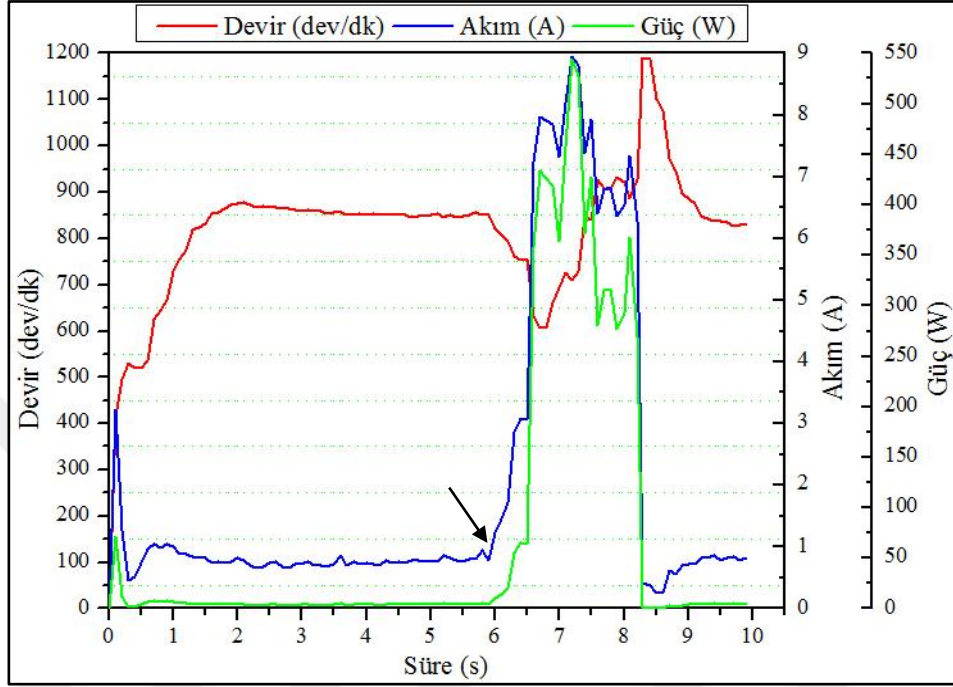
Şekil 5.5'te 850 dev/dk referans devir sayısı ve 0,1 mm/dev ilerleme hızına ilişkin talaş kaldırma işlemi boyunca iş mili motorundan alınan devir sayısı, akım ve güç verileri grafiksel olarak verilmektedir.



Şekil 5.5. PID denetimli, devir, akım, güç grafiği (850 dev/dk, 0,1 mm/dev).

Şekil 5.5'te verilen grafik incelendiğinde, talaş kaldırma işlemine 7,5'inci saniyede geçilmesiyle, devir sayısına ait ortalama değerlerin referans değerleri yakaladığı, iş mili motorundan alınan ortalama akım değerinin 0,69 A seviyelerinden 4,45 A seviyelerine ve güç değerlerinin 3,41 W seviyelerinden 143,9 W seviyelerine yükseldiği gözlenmektedir.

Şekil 5.6’da 850 dev/dk referans devir sayısı ve 0,15 mm/dev ilerleme hızına ilişkin talaş kaldırma işlemi boyunca iş mili motorundan alınan devir sayısı, akım ve güç verileri grafiksel olarak verilmektedir.



Şekil 5.6. PID denetimli, devir, akım, güç grafiği (850 dev/dk, 0,15 mm/dev)

Şekil 5.6’da verilen grafik incelendiğinde, motor akımının 0,1 saniyelik periyotta 3,23 A seviyelerine yükseldiği, talaş kaldırma işlemine 6’ncı saniyede geçilmesiyle, devir sayısına ait ortalama değerlerin referans değerleri yakaladığı, iş mili motorundan alınan ortalama akım değerinin 0,83 A seviyelerinden 5,84 A seviyelerine ve güç değerlerinin 5,44 W seviyelerinden 278,2 W seviyelerine yükseldiği gözlenmektedir. Kesici ucun iş parçasından ayrılmasıyla, iş mili motoru ortalama akım değerinin 0,66 A seviyelerine ve ortalama güç değerlerinin ise 3,25 W seviyelerine düştüğü gözlenmektedir. Çizelge 5.4’te 850 dev/dk referans devir sayısında, 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarına ilişkin gerçekleştirilen deneylere ait sayısal veriler sunulmaktadır. Çizelge incelendiğinde TKA içerisinde kesme hızının artışına bağlı olarak ortalama akım, güç değerlerinin yükseldiği ve enerji tüketiminin de kesme hızıyla artış gösterdiği belirlenmiştir.

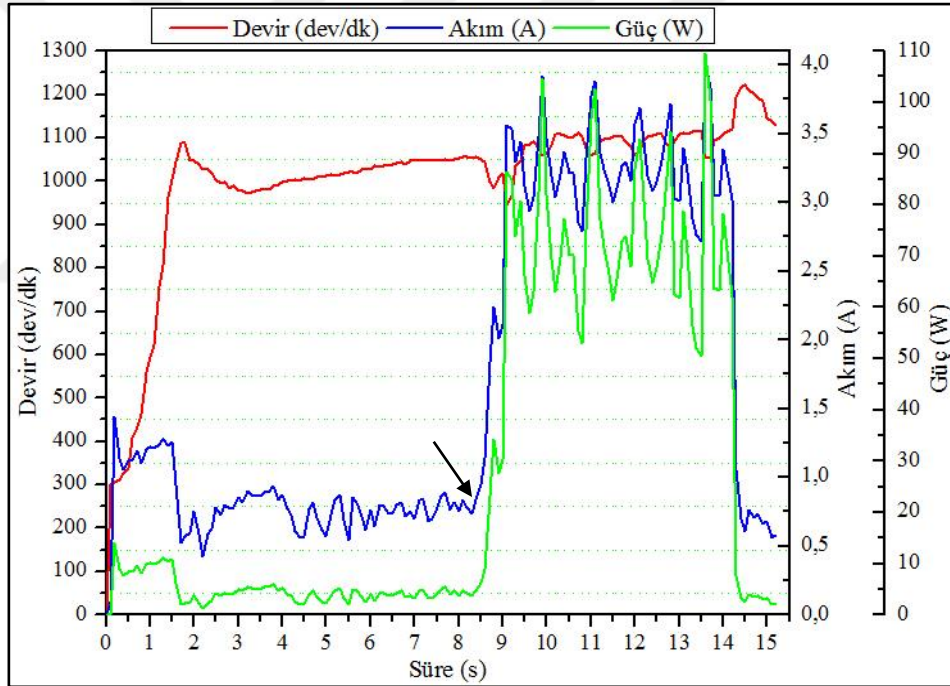
Çizelge 5.4. PID yöntemiyle, 850 dev/dk devir sayısı, 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarıyla gerçekleştirilen deneylere ilişkin sayısal veriler.

İlerleme Hızı (mm/dev)	İşlem Türü	İşlem Zaman Aralığı (s)		Ortalama			Enerji Tüketimi (Ws)
				Devir Sayısı (dev/dk)	Akım (A)	Güç (W)	
0,05	TKÖ	Baş.	0	793,16	0,84	5,07	43,57
		Bit.	8,6				
	TKA	Baş.	8,7	840,54	2,94	60,02	288,08
		Bit.	13,4				
	TKS	Baş.	13,5	870,24	0,70	3,43	7,20
		Bit.	15,5				
	Yükselme Süresi (s) :				1,9		
Aşma Yüzdesi (%) :				3			
Yerleşme Zamanı (s) :				2,9			
İlerleme Hızı (mm/dev)	İşlem Türü	İşlem Zaman Aralığı (s)		Ortalama			Enerji Tüketimi (Ws)
				Devir Sayısı (dev/dk)	Akım (A)	Güç (W)	
0,1	TKÖ	Baş.	0	820,62	0,69	3,41	25,26
		Bit.	7,4				
	TKA	Baş.	7,5	829,43	4,45	143,9	445,97
		Bit.	10,5				
	TKS	Baş.	10,6	1007,63	0,69	3,81	3,43
		Bit.	11,4				
	Yükselme Süresi (s) :				1,3		
Aşma Yüzdesi (%) :				4			
Yerleşme Zamanı (s) :				3,5			
İlerleme Hızı (mm/dev)	İşlem Türü	İşlem Zaman Aralığı (s)		Ortalama			Enerji Tüketimi (Ws)
				Devir Sayısı (dev/dk)	Akım (A)	Güç (W)	
0,15	TKÖ	Baş.	0	803,01	0,83	5,44	32,08
		Bit.	5,9				
	TKA	Baş.	6	789,07	5,84	278,2	667,7
		Bit.	8,2				
	TKS	Baş.	8,3	930,30	0,66	3,25	5,53
		Bit.	9,9				
	Yükselme Süresi (s) :				1,6		
Aşma Yüzdesi (%) :				4			
Yerleşme Zamanı (s) :				3,2			

5.2.2. PID Yöntemi İle 1100 Devir Sayısı (dev/dk) Ve 0,05, 0,1, 0,15 (mm/dev) İlerleme Hızlarına İlişkin Deneyler

İş mili motorunun PID denetimli olarak 1100 dev/dk referans devir sayılarında ve bu devir sayıları için kesici takıma uygulanan 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarına ilişkin gerçekleştirilen talaş kaldırma deneyleri Şekil 5.7, Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'da verilmektedir. Deneylere ilişkin sayısal veriler Çizelge 5.5'te sunulmaktadır.

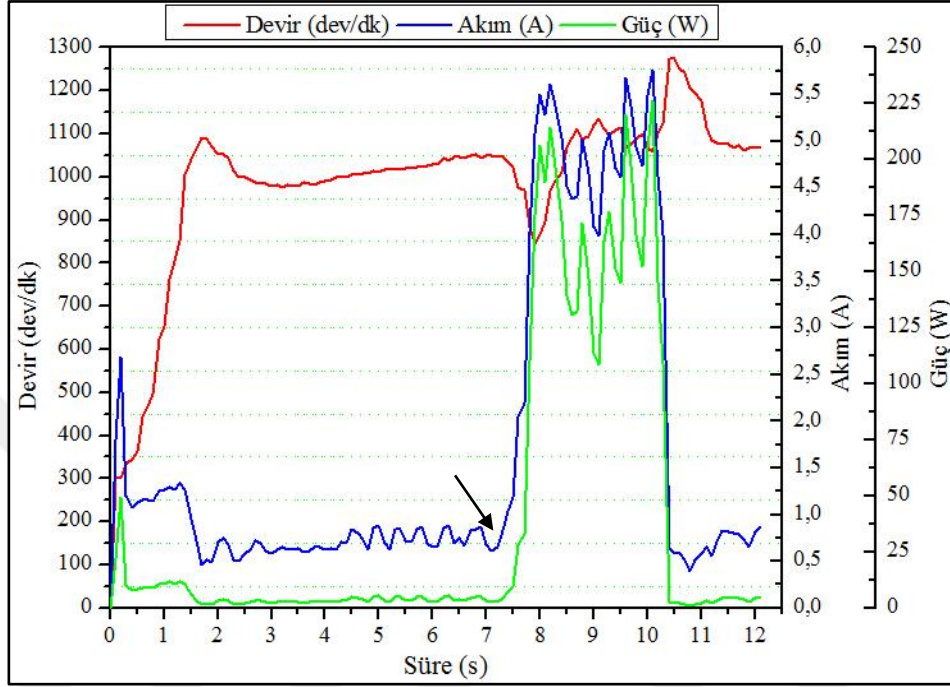
Şekil 5.7'de 1100 dev/dk referans devir sayısı ve 0,05 mm/dev ilerleme hızına ilişkin talaş kaldırma işlemi boyunca iş mili motorundan alınan devir sayısı, akım ve güç verileri grafiksel olarak verilmektedir.



Şekil 5.7. PID denetimli devir, akım, güç grafiği (1100 dev/dk, 0,05 mm/dev).

Şekil 5.7'de verilen grafik incelendiğinde, motor akımının 0,1 saniyelik periyotta 1,44 A seviyelerine yükseldiği, talaş kaldırma işlemine 8,6'ncı saniyede geçilmesiyle, devir sayısına ait ortalama değerlerin referans değerleri yakaladığı, iş mili motorundan alınan ortalama akım değerinin 0,82 A seviyelerinden 3,15 A seviyelerine ve güç değerlerinin 4,90 W seviyelerinden 69,52 W seviyelerine yükseldiği gözlenmektedir.

Şekil 5.8’de 850 dev/dk referans devir sayısı ve 0,1 mm/dev ilerleme hızına ilişkin talaş kaldırma işlemi boyunca iş mili motorundan alınan devir sayısı, akım ve güç verileri grafiksel olarak verilmektedir.

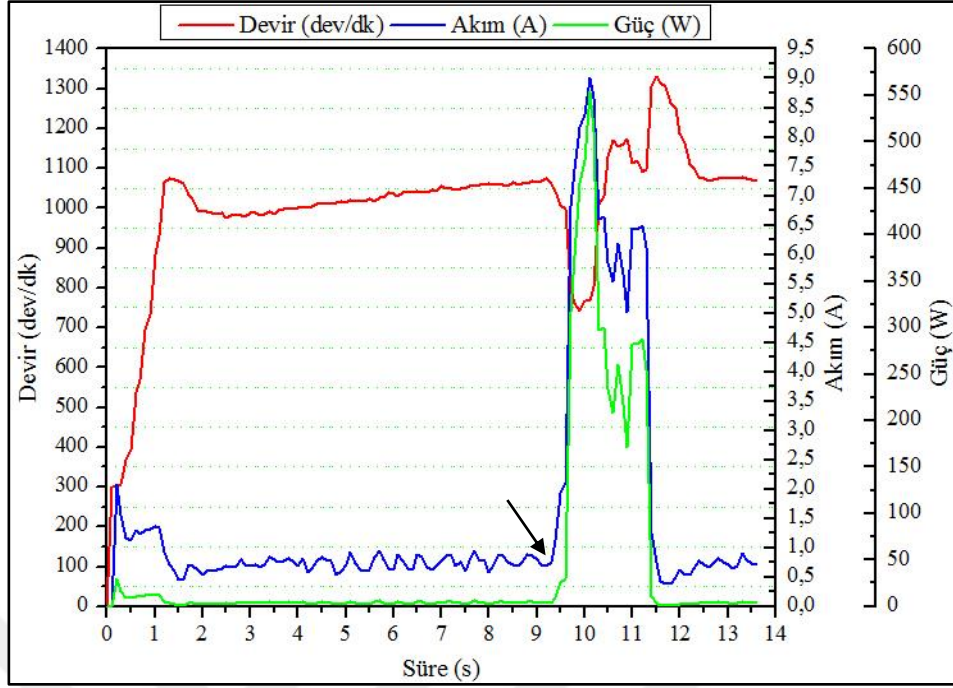


Şekil 5.8. PID denetimli, devir, akım, güç grafiği (1100 dev/dk, 0,1 mm/dev).

Şekil 5.8’de verilen grafik incelendiğinde, motor akımının 0,2 saniyelik periyotta 2,69 A seviyelerine yükseldiği, talaş kaldırma işlemine 7,6’ncı saniyede geçilmesiyle, devir sayısına ait ortalama değerlerin referans değerleri yakaladığı, iş mili motorundan alınan ortalama akım değerinin 0,83 A seviyelerinden 4,68 A seviyelerine ve güç değerlerinin 5,46 W seviyelerinden 154,6 W seviyelerine yükseldiği gözlenmektedir.

Kesici ucun iş parçasından ayrılmasıyla, iş mili motoru ortalama akım değerinin 0,67 A seviyelerine ve güç değerlerinin ise 3,20 W seviyelerine düştüğü gözlenmektedir.

Şekil 5.9’da 850 dev/dk referans devir sayısı ve 0,15 mm/dev ilerleme hızına ilişkin talaş kaldırma işlemi boyunca iş mili motorundan alınan devir sayısı, akım ve güç verileri grafiksel olarak verilmektedir.



Şekil 5.9. PID denetimli, devir, akım, güç grafiği (1100 dev/dk, 0,15 mm/dev).

Şekil 5.9’da verilen grafik incelendiğinde, motor akımının 0,2 saniyelik periyotta 2,09 A seviyelerine yükseldiği, talaş kaldırma işlemine 9,4’üncü saniyede geçilmesiyle, devir sayısına ait ortalama değerlerin referans değerleri yakaladığı, iş mili motorundan alınan ortalama akım değerinin 0,79 A seviyelerinden 6,03 A seviyelerine ve güç değerlerinin 4,68 W seviyelerinden 277,83 W seviyelerine yükseldiği gözlenmektedir.

Kesici ucun iş parçasından ayrılmasıyla, iş mili motoru ortalama akım değerinin 0,68 A seviyelerine ve ortalama güç değerlerinin ise 3,41 W seviyelerine düştüğü gözlenmektedir.

Çizelge 5.5’te 850 dev/dk referans devir sayısında, 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarına ilişkin gerçekleştirilen deneylere ait sayısal veriler sunulmaktadır. Çizelge incelendiğinde TKA içerisinde kesme hızının artışına bağlı olarak ortalama akım, güç değerlerinin yükseldiği ve enerji tüketiminin de kesme hızıyla artış gösterdiği belirlenmiştir.

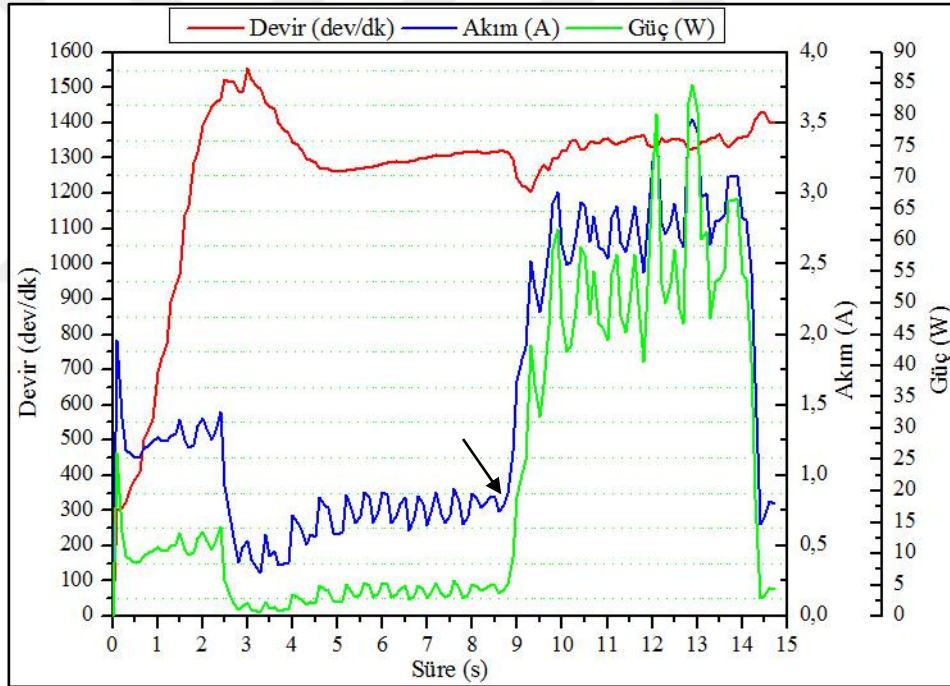
Çizelge 5.5. PID yöntemiyle, 1100 dev/dk devir sayısı 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarıyla gerçekleştirilen deneylere ilişkin sayısal veriler.

İlerleme Hızı (mm/dev)	İşlem Türü	İşlem Zaman Aralığı (s)		Ortalama			Enerji Tüketimi (Ws)
				Devir Sayısı (dev/dk)	Akım (A)	Güç (W)	
0,05	TKÖ	Baş.	0	939,07	0,82	4,90	41,62
		Bit.	8,5				
	TKA	Baş.	8,6	1079,27	3,15	69,52	396,27
		Bit.	14,2				
	TKS	Baş.	14,3	1183,01	0,71	3,52	3,52
		Bit.	15,2				
	Yükselme Süresi (s) :				1,7		
Aşma Yüzdesi (%) :				6			
Yerleşme Zamanı (s) :				4,1			
İlerleme Hızı (mm/dev)	İşlem Türü	İşlem Zaman Aralığı (s)		Ortalama			Enerji Tüketimi (Ws)
				Devir Sayısı (dev/dk)	Akım (A)	Güç (W)	
0,1	TKÖ	Baş.	0	932,23	0,83	5,46	40,97
		Bit.	7,5				
	TKA	Baş.	7,6	1043,62	4,68	154,6	432,86
		Bit.	10,3				
	TKS	Baş.	10,4	1136,55	0,67	3,20	5,76
		Bit.	12,1				
	Yükselme Süresi (s) :				1,8		
Aşma Yüzdesi (%) :				8			
Yerleşme Zamanı (s) :				3,3			
İlerleme Hızı (mm/dev)	İşlem Türü	İşlem Zaman Aralığı (s)		Ortalama			Enerji Tüketimi (Ws)
				Devir Sayısı (dev/dk)	Akım (A)	Güç (W)	
0,15	TKÖ	Baş.	0	970,78	0,79	4,68	43,54
		Bit.	9,3				
	TKA	Baş.	9,4	996,91	6,03	277,8	555,65
		Bit.	11,3				
	TKS	Baş.	11,4	1143,27	0,68	3,41	7,84
		Bit.	13,6				
	Yükselme Süresi (s) :				1,3		
Aşma Yüzdesi (%) :				8			
Yerleşme Zamanı (s) :				2,6			

5.2.3. PID Yöntemi İle 1359 Devir Sayısı (dev/dk) Ve 0,05, 0,1, 0,15 (mm/dev) İlerleme Hızlarına İlişkin Deneyler

İş mili motorunun PID denetimli olarak 1359 dev/dk referans devir sayılarında ve bu devir sayıları için kesici takıma uygulanan 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarına ilişkin gerçekleştirilen talaş kaldırma deneyleri Şekil 5.10, Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’de verilmektedir. Deneylere ilişkin sayısal veriler Çizelge 5.6’da sunulmaktadır.

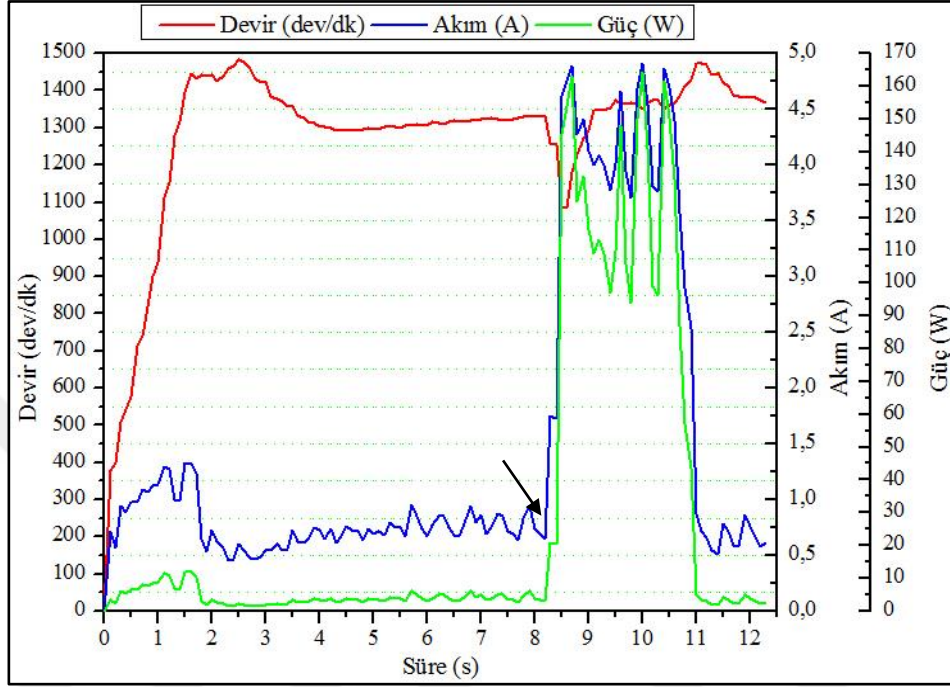
Şekil 5.10’da 1359 dev/dk referans devir sayısı ve 0,05 mm/dev ilerleme hızına ilişkin talaş kaldırma işlemi boyunca iş mili motorundan alınan devir sayısı, akım ve güç verileri grafiksel olarak verilmektedir.



Şekil 5.10. PID denetimli, devir, akım, güç grafiği (1359 dev/dk, 0,05 mm/dev).

Şekil 5.10’da verilen grafik incelendiğinde, motor akımının 0,1 saniyelik periyotta 1,96 A seviyelerine yükseldiği, talaş kaldırma işlemine 8,9’uncu saniyede geçilmesiyle, devir sayısına ait ortalama değerlerin referans değerleri yakaladığı, iş mili motorundan alınan ortalama akım değerinin 0,85 A seviyelerinden 2,71 A seviyelerine ve güç değerlerinin 5,62 W seviyelerinden 51,39 W seviyelerine yükseldiği gözlenmektedir.

Şekil 5.11’de 1359 dev/dk referans devir sayısı ve 0,1 mm/dev ilerleme hızına ilişkin talaş kaldırma işlemi boyunca iş mili motorundan alınan devir sayısı, akım ve güç verileri grafiksel olarak verilmektedir.

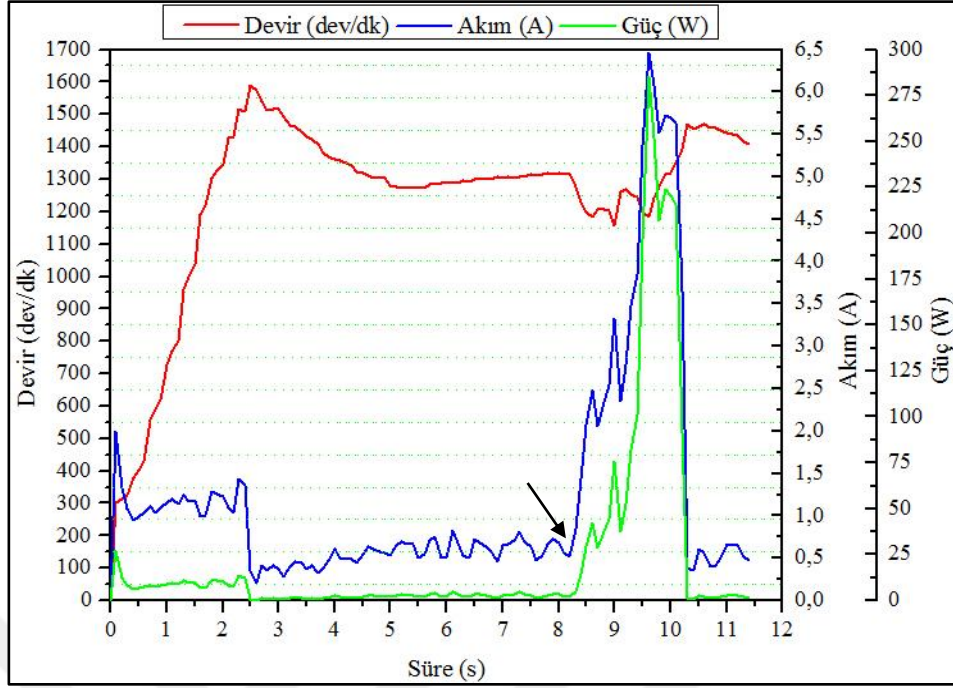


Şekil 5.11. PID denetimli, devir, akım, güç grafiği (1359 dev/dk, 0,1 mm/dev).

Şekil 5.11’de verilen grafik incelendiğinde, motor akımının 0,5 saniyelik periyotta 0,98 A seviyelerine yükseldiği, talaş kaldırma işlemine 8,3’üncü saniyede geçilmesiyle, devir sayısına ait ortalama değerlerin referans değerleri yakaladığı, iş mili motorundan alınan ortalama akım değerinin 0,77 A seviyelerinden 3,98 A seviyelerine ve güç değerlerinin 4,30 W seviyelerinden 112,78 W seviyelerine yükseldiği gözlenmektedir.

Kesici ucun iş parçasından ayrılmasıyla, iş mili motoru ortalama akım değerinin 0,67 A seviyelerine ve güç değerlerinin ise 3,18 W seviyelerine düştüğü gözlenmektedir.

Şekil 5.12’de 1359 dev/dk referans devir sayısı ve 0,15 mm/dev ilerleme hızına ilişkin talaş kaldırma işlemi boyunca iş mili motorundan alınan devir sayısı, akım ve güç verileri grafiksel olarak verilmektedir.



Şekil 5.12. PID denetimli, devir, akım, güç grafiği (1359 dev/dk, 0,15 mm/dev).

Şekil 5.12’de verilen grafik incelendiğinde, motor akımının 0,1 saniyelik periyotta 2,00 A seviyelerine yükseldiği, talaş kaldırma işlemine 8,4’üncü saniyede geçilmesiyle, devir sayısına ait ortalama değerlerin referans değerleri yakaladığı, iş mili motorundan alınan ortalama akım değerinin 0,74 A seviyelerinden 3,83 A seviyelerine ve güç değerlerinin 4,42 W seviyelerinden 117,74 W seviyelerine yükseldiği gözlenmektedir.

Kesici ucun iş parçasından ayrılmasıyla, iş mili motoru ortalama akım değerinin 0,51 A seviyelerine ve ortalama güç değerlerinin ise 1,88 W seviyelerine düştüğü gözlenmektedir.

Çizelge 5.6’da 1359 dev/dk referans devir sayısında, 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarına ilişkin gerçekleştirilen deneylere ait sayısal veriler sunulmaktadır. Çizelge incelendiğinde TKA içerisinde kesme hızının artışına bağlı olarak ortalama akım, güç değerlerinin yükseldiği ve enerji tüketiminin de kesme hızıyla artış gösterdiği belirlenmiştir.

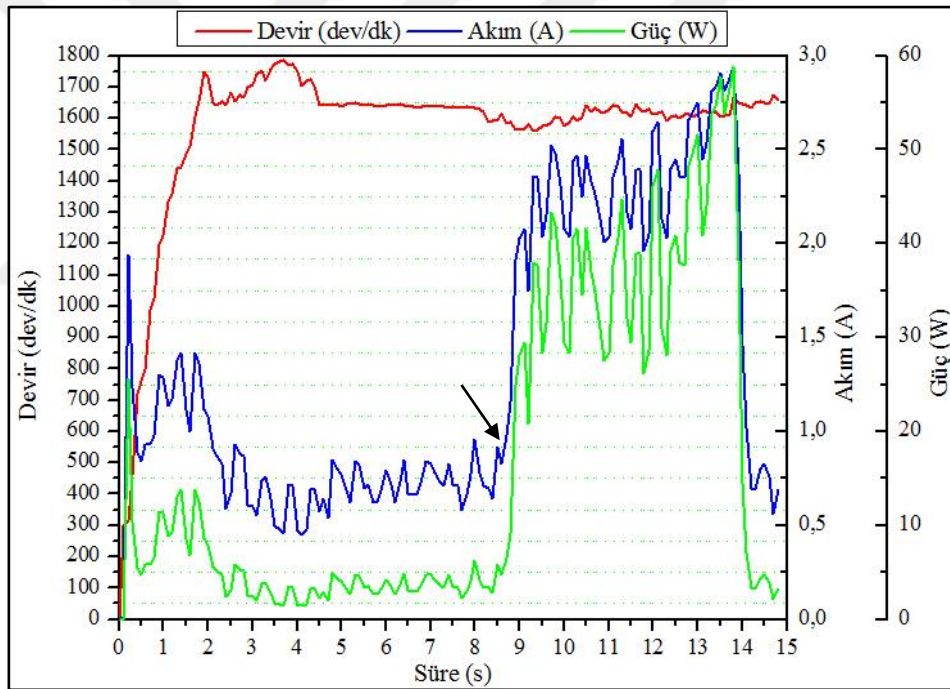
Çizelge 5.6. PID yöntemiyle, 1359 dev/dk devir sayısı 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarıyla gerçekleştirilen deneylere ilişkin sayısal veriler.

İlerleme Hızı (mm/dev)	İşlem Türü	İşlem Zaman Aralığı (s)		Ortalama			Enerji Tüketimi (Ws)
				Devir Sayısı (dev/dk)	Akım (A)	Güç (W)	
0,05	TKÖ	Baş.	0	1209,05	0,85	5,62	49,43
		Bit.	8,8				
	TKA	Baş.	8,9	1327,98	2,71	51,39	277,52
		Bit.	14,2				
	TKS	Baş.	14,3	1413,93	0,93	6,79	3,39
		Bit.	14,7				
	Yükselme Süresi (s) :				2,5		
Aşma Yüzdesi (%) :				9			
Yerleşme Zamanı (s) :				4,3			
İlerleme Hızı (mm/dev)	İşlem Türü	İşlem Zaman Aralığı (s)		Ortalama			Enerji Tüketimi (Ws)
				Devir Sayısı (dev/dk)	Akım (A)	Güç (W)	
0,1	TKÖ	Baş.	0	1256,22	0,77	4,30	35,30
		Bit.	8,2				
	TKA	Baş.	8,3	1320,79	3,98	112,8	304,51
		Bit.	10,9				
	TKS	Baş.	11,0	1413,95	0,67	3,18	4,45
		Bit.	12,3				
	Yükselme Süresi (s) :				2,6		
Aşma Yüzdesi (%) :				8			
Yerleşme Zamanı (s) :				4,1			
İlerleme Hızı (mm/dev)	İşlem Türü	İşlem Zaman Aralığı (s)		Ortalama			Enerji Tüketimi (Ws)
				Devir Sayısı (dev/dk)	Akım (A)	Güç (W)	
0,15	TKÖ	Baş.	0	1216,18	0,74	4,42	36,70
		Bit.	8,3				
	TKA	Baş.	8,4	1246,32	3,83	117,7	223,71
		Bit.	10,2				
	TKS	Baş.	10,3	1447,05	0,51	1,88	2,26
		Bit.	11,4				
	Yükselme Süresi (s) :				2,5		
Aşma Yüzdesi (%) :				12			
Yerleşme Zamanı (s) :				4,9			

5.2.4. PID Yöntemi İle 1614 Devir Sayısı (dev/dk) Ve 0,05, 0,1, 0,15 (mm/dev) İlerleme Hızlarına İlişkin Deneyler

İş mili motorunun PID denetimli olarak 1614 dev/dk referans devir sayılarında ve bu devir sayıları için kesici takıma uygulanan 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarına ilişkin gerçekleştirilen talaş kaldırma deneyleri Şekil 5.13, Şekil 5.14 ve Şekil 5.15'te verilmektedir. Deneylere ilişkin sayısal veriler Çizelge 5.7'de sunulmaktadır.

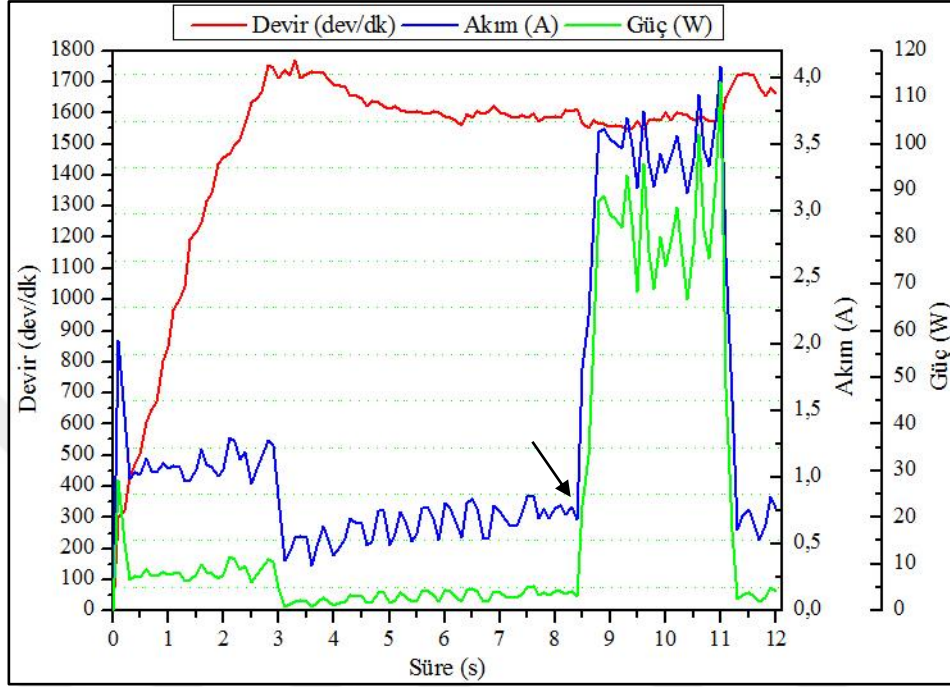
Şekil 5.13'te 1614 dev/dk referans devir sayısı ve 0,05 mm/dev ilerleme hızına ilişkin talaş kaldırma işlemi boyunca iş mili motorundan alınan devir sayısı, akım ve güç verileri grafiksel olarak verilmektedir.



Şekil 5.13. PID denetimli, devir, akım, güç grafiği (1614 dev/dk, 0,05 mm/dev).

Şekil 5.13'te verilen grafik incelendiğinde, motor akımının 0,2 saniyelik periyotta 1,94 A seviyelerine yükseldiği, talaş kaldırma işlemine 8,9'uncu saniyede geçilmesiyle, devir sayısına ait ortalama değerlerin referans değerleri yakaladığı, iş mili motorundan alınan ortalama akım değerinin 0,81 A seviyelerinden 2,35 A seviyelerine ve güç değerlerinin 4,99 W seviyelerinden 38,15 W seviyelerine yükseldiği gözlenmektedir.

Şekil 5.14'te 1614 dev/dk referans devir sayısı ve 0,1 mm/dev ilerleme hızına ilişkin talaş kaldırma işlemi boyunca iş mili motorundan alınan devir sayısı, akım ve güç verileri grafiksel olarak verilmektedir.

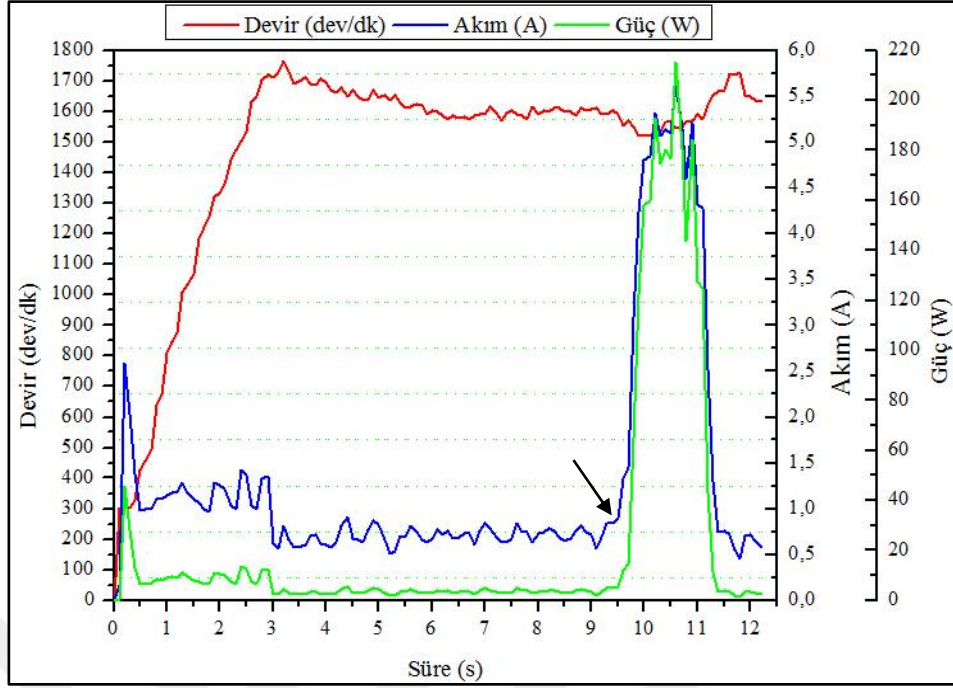


Şekil 5.14. PID denetimli, devir, akım, güç grafiği (1614 dev/dk, 0,1 mm/dev).

Şekil 5.14'te verilen grafik incelendiğinde, motor akımının 0,1 saniyelik periyotta 2,03 A seviyelerine yükseldiği, talaş kaldırma işlemine 8,5'inci saniyede geçilmesiyle, devir sayısına ait ortalama değerlerin referans değerleri yakaladığı, iş mili motorundan alınan ortalama akım değerinin 0,82 A seviyelerinden 3,33 A seviyelerine ve güç değerlerinin 5,13 W seviyelerinden 77,09 W seviyelerine yükseldiği gözlenmektedir.

Kesici ucun iş parçasından ayrılmasıyla, iş mili motoru ortalama akım değerinin 0,79 A seviyelerine ve güç değerlerinin ise 4,86 W seviyelerine düştüğü gözlenmektedir.

Şekil 5.15'te 1614 dev/dk referans devir sayısı ve 0,15 mm/dev ilerleme hızına ilişkin talaş kaldırma işlemi boyunca iş mili motorundan alınan devir sayısı, akım ve güç verileri grafiksel olarak verilmektedir.



Şekil 5.15. PID denetimli, devir, akım, güç grafiği (1614 dev/dk, 0,15 mm/dev).

Şekil 5.15'te verilen grafik incelendiğinde, motor akımının 0,2 saniyelik periyotta 2,59 A seviyelerine yükseldiği, talaş kaldırma işlemine 9,6'ncı saniyede geçilmesiyle, devir sayısına ait ortalama değerlerin referans değerleri yakaladığı, iş mili motorundan alınan ortalama akım değerinin 0,86 A seviyelerinden 4,24 A seviyelerine ve güç değerlerinin 5,71 W seviyelerinden 133,80 W seviyelerine yükseldiği gözlenmektedir.

Kesici ucun iş parçasından ayrılmasıyla, iş mili motoru ortalama akım değerinin 0,72 A seviyelerine ve ortalama güç değerlerinin ise 3,83 W seviyelerine düştüğü gözlenmektedir.

Çizelge 5.7'de 1614 dev/dk referans devir sayısında, 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarına ilişkin gerçekleştirilen deneylere ait sayısal veriler sunulmaktadır.

Çizelge incelendiğinde TKA içerisinde kesme hızının artışına bağlı olarak ortalama akım, güç değerlerinin yükseldiği ve enerji tüketiminin de kesme hızıyla artış gösterdiği belirlenmiştir.

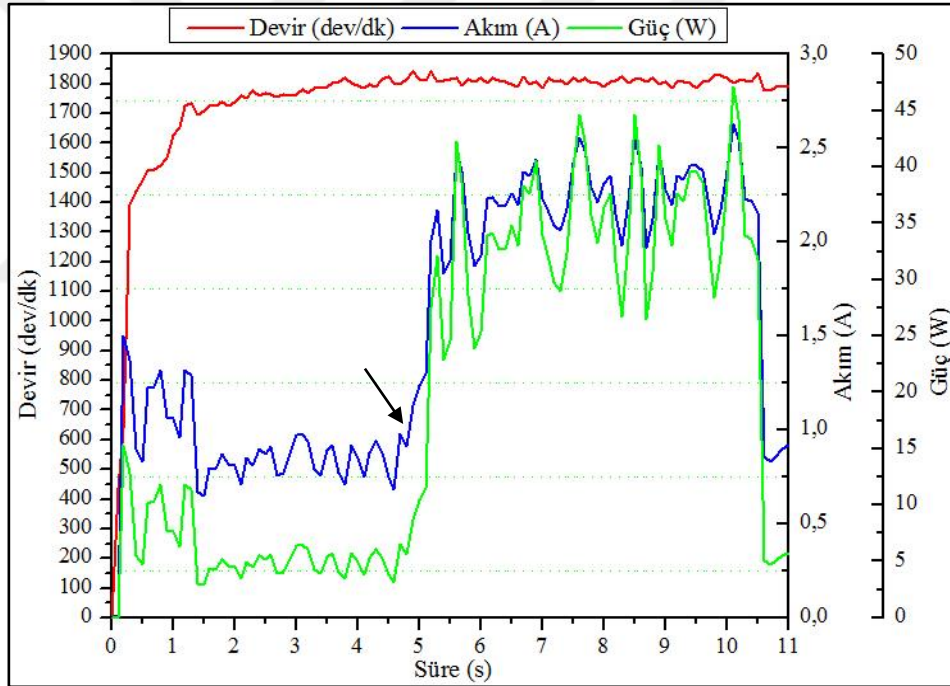
Çizelge 5.7. PID yöntemiyle, 1614 dev/dk devir sayısı 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarıyla gerçekleştirilen deneylere ilişkin sayısal veriler.

İlerleme Hızı (mm/dev)	İşlem Türü	İşlem Zaman Aralığı (s)		Ortalama			Enerji Tüketimi (Ws)
				Devir Sayısı (dev/dk)	Akım (A)	Güç (W)	
0,05	TKÖ	Baş.	0	1546,61	0,81	4,99	43,87
		Bit.	8,8				
	TKA	Baş.	8,9	1609,67	2,35	38,15	198,37
		Bit.	14,0				
	TKS	Baş.	14,1	1651,26	0,76	4,01	3,20
		Bit.	14,8				
	Yükselme Süresi (s) :				3,7		
Aşma Yüzdesi (%) :				10			
Yerleşme Zamanı (s) :				4,5			
İlerleme Hızı (mm/dev)	İşlem Türü	İşlem Zaman Aralığı (s)		Ortalama			Enerji Tüketimi (Ws)
				Devir Sayısı (dev/dk)	Akım (A)	Güç (W)	
0,1	TKÖ	Baş.	0	1452,66	0,82	5,13	43,12
		Bit.	8,4				
	TKA	Baş.	8,5	1575,43	3,33	77,09	208,14
		Bit.	11,1				
	TKS	Baş.	11,2	1695,40	0,79	4,86	4,38
		Bit.	12,0				
	Yükselme Süresi (s) :				3,3		
Aşma Yüzdesi (%) :				9			
Yerleşme Zamanı (s) :				4,3			
İlerleme Hızı (mm/dev)	İşlem Türü	İşlem Zaman Aralığı (s)		Ortalama			Enerji Tüketimi (Ws)
				Devir Sayısı (dev/dk)	Akım (A)	Güç (W)	
0,15	TKÖ	Baş.	0	1445,31	0,86	5,71	54,25
		Bit.	9,5				
	TKA	Baş.	9,6	1555,87	4,24	133,8	227,46
		Bit.	11,2				
	TKS	Baş.	11,3	1672,23	0,72	3,83	3,83
		Bit.	12,2				
	Yükselme Süresi (s) :				3,2		
Aşma Yüzdesi (%) :				9			
Yerleşme Zamanı (s) :				5,9			

5.2.5. PID Yöntemi İle 1868 Devir Sayısı (dev/dk) Ve 0,05, 0,15 (mm/dev) İlerleme Hızlarına İlişkin Deneyler

İş mili motorunun PID denetimli olarak 1868 dev/dk referans devir sayılarında ve bu devir sayıları için kesici takıma uygulanan 0,05 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarına ilişkin gerçekleştirilen talaş kaldırma deneyleri Şekil 5.16 ve Şekil 5.17’de verilmektedir. Deneylere ilişkin sayısal veriler Çizelge 5.8’de sunulmaktadır.

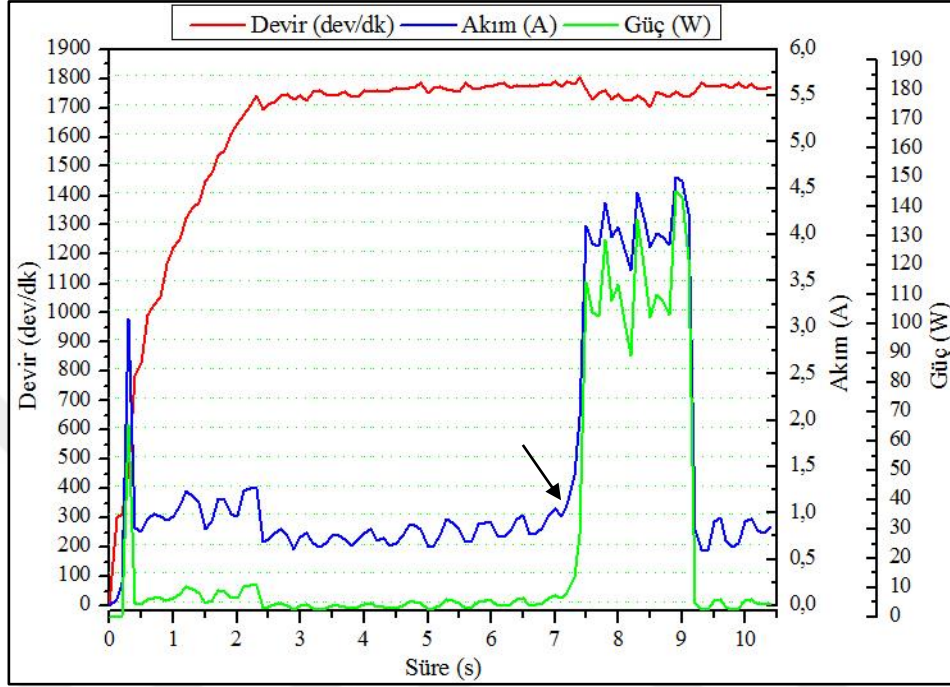
Şekil 5.16’da 1868 dev/dk referans devir sayısı ve 0,05 mm/dev ilerleme hızına ilişkin talaş kaldırma işlemi boyunca iş mili motorundan alınan devir sayısı, akım ve güç verileri grafiksel olarak verilmektedir.



Şekil 5.16. PID denetimli, devir, akım, güç grafiği (1868 dev/dk, 0,05 mm/dev).

Şekil 5.16’da verilen grafik incelendiğinde, motor akımının 0,2 saniyelik periyotta 1,50 A seviyelerine yükseldiği, talaş kaldırma işlemine 4,9’uncu saniyede geçilmesiyle, devir sayısına ait ortalama değerlerin referans değerleri yakaladığı, iş mili motorundan alınan ortalama akım değerinin 0,90 A seviyelerinden 2,19 A seviyelerine ve güç değerlerinin 5,89 W seviyelerinden 33,33 W seviyelerine yükseldiği gözlenmektedir.

Şekil 5.17’de 1868 dev/dk referans devir sayısı ve 0,15 mm/dev ilerleme hızına ilişkin talaş kaldırma işlemi boyunca iş mili motorundan alınan devir sayısı, akım ve güç verileri grafiksel olarak verilmektedir.



Şekil 5.17. PID denetimli, devir, akım, güç grafiği (1868 dev/dk, 0,15 mm/dev).

Şekil 5.17’de verilen grafik incelendiğinde, motor akımının 0,3 saniyelik periyotta 3,10 A seviyelerine yükseldiği, talaş kaldırma işlemine 7,3’üncü saniyede geçilmesiyle, devir sayısına ait ortalama değerlerin referans değerleri yakaladığı, iş mili motorundan alınan ortalama akım değerinin 0,87 A seviyelerinden 3,85 A seviyelerine ve güç değerlerinin 5,92 W seviyelerinden 104,92 W seviyelerine yükseldiği gözlenmektedir. Kesici ucun iş parçasından ayrılmasıyla, iş mili motoru ortalama akım değerinin 0,78 A seviyelerine ve güç değerlerinin ise 4,28 W seviyelerine düştüğü gözlenmektedir.

Çizelge 5.8’de 1868 dev/dk referans devir sayısında, 0,05 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarına ilişkin gerçekleştirilen deneylere ait sayısal veriler sunulmaktadır. Çizelge incelendiğinde TKA içerisinde kesme hızının artışına bağlı olarak ortalama akım, güç değerlerinin yükseldiği ve enerji tüketiminin de kesme hızıyla artış gösterdiği belirlenmiştir.

Çizelge 5.8. PID yöntemiyle, 1868 dev/dk devir sayısı 0,05 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarıyla gerçekleştirilen deneylere ilişkin sayısal veriler.

İlerleme Hızı (mm/dev)	İşlem Türü	İşlem Zaman Aralığı (s)		Ortalama			Enerji Tüketimi (Ws)
				Devir Sayısı (dev/dk)	Akım (A)	Güç (W)	
0,05	TKÖ	Baş.	0	1672,29	0,90	5,89	28,26
		Bit.	4,8				
	TKA	Baş.	4,9	1810,47	2,19	33,33	190,00
		Bit.	10,5				
	TKS	Baş.	10,6	1786,44	0,87	5,21	2,61
		Bit.	11,0				
	Yükselme Süresi (s) :				3,8		
Aşma Yüzdesi (%) :				2			
Yerleşme Zamanı (s) :				5,3			
İlerleme Hızı (mm/dev)	İşlem Türü	İşlem Zaman Aralığı (s)		Ortalama			Enerji Tüketimi (Ws)
				Devir Sayısı (dev/dk)	Akım (A)	Güç (W)	
0,15	TKÖ	Baş.	0	1584,04	0,87	5,92	42,67
		Bit.	7,2				
	TKA	Baş.	7,3	1744,78	3,85	104,9	199,35
		Bit.	9,1				
	TKS	Baş.	9,2	1771,99	0,78	4,28	5,56
		Bit.	10,4				
	Yükselme Süresi (s) :				3,3		
Aşma Yüzdesi (%) :				2			
Yerleşme Zamanı (s) :				5,1			

5.3. BM DENETİMLİ DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARI

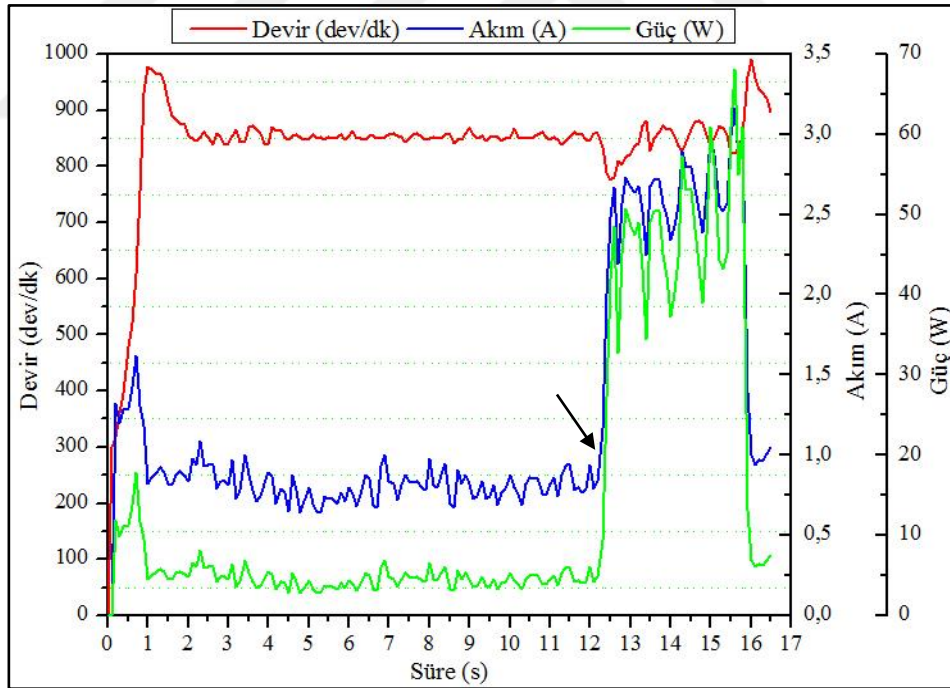
BM ile hız denetimi yöntemiyle gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda, iş mili motoruna 850, 1100, 1359, 1614 ve 1868 dev/dk referans devir sayılarında, hız denetimleri uygulanmıştır. İş mili motoru için belirlenen her referans devir sayısı için 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarıyla, talaş kaldırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen deneylerde gerçek zamanlı olarak alınan devir sayısı, akım ve güç verileri grafiksel olarak sunulmaktadır. Deneylere ilişkin talaş kaldırma öncesi, anı ve sonrasında alınan devir sayısı, akım, güç ve enerji tüketimi

ortalama değerleriyle, hız denetiminde gözlenen yükselme, aşma ve yerleşme sayısal verileri çizelgelerde ayrıntılı olarak verilmektedir.

5.3.1. BM Yöntemi İle 850 Devir Sayısı (dev/dk) Ve 0,05, 0,1, 0,15 (mm/dev) İlerleme Hızlarına İlişkin Deneyler

İş mili motorunun BM hız denetimi yöntemiyle, 850 dev/dk referans devir sayılarında ve bu devir sayıları için kesici takıma uygulanan 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarına ilişkin gerçekleştirilen talaş kaldırma deneyleri Şekil 5.18, Şekil 5.19 ve Şekil 5.20’de verilmektedir. Deneylere ilişkin sayısal veriler Çizelge 5.9’da sunulmaktadır.

Şekil 5.18’de 850 dev/dk referans devir sayısı ve 0,05 mm/dev ilerleme hızına ilişkin talaş kaldırma işlemi boyunca iş mili motorundan alınan devir sayısı, akım ve güç verileri grafiksel olarak verilmektedir.

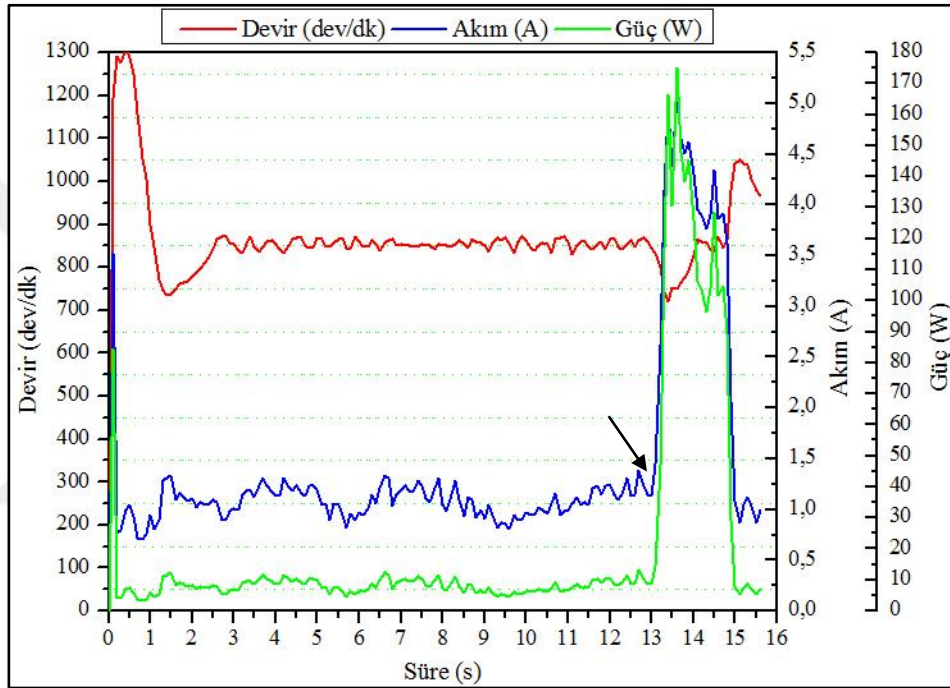


Şekil 5.18. BM denetimli, devir, akım ve güç grafiği (850 dev/dk, 0,05 mm/dev).

Şekil 5.18’de verilen grafik incelendiğinde, motor akımının 0,2 saniyelik periyotta 1,32 A seviyelerine yükseldiği, talaş kaldırma işlemine 12,3’üncü saniyede geçilmesiyle, devir sayısına ait ortalama değerlerin referans değerleri yakaladığı, iş

mili motorundan alınan ortalama akım değerinin 0,84 A seviyelerinden 2,59 A seviyelerine ve güç değerlerinin 5,03 W seviyelerinden 46,50 W seviyelerine yükseldiği gözlenmektedir.

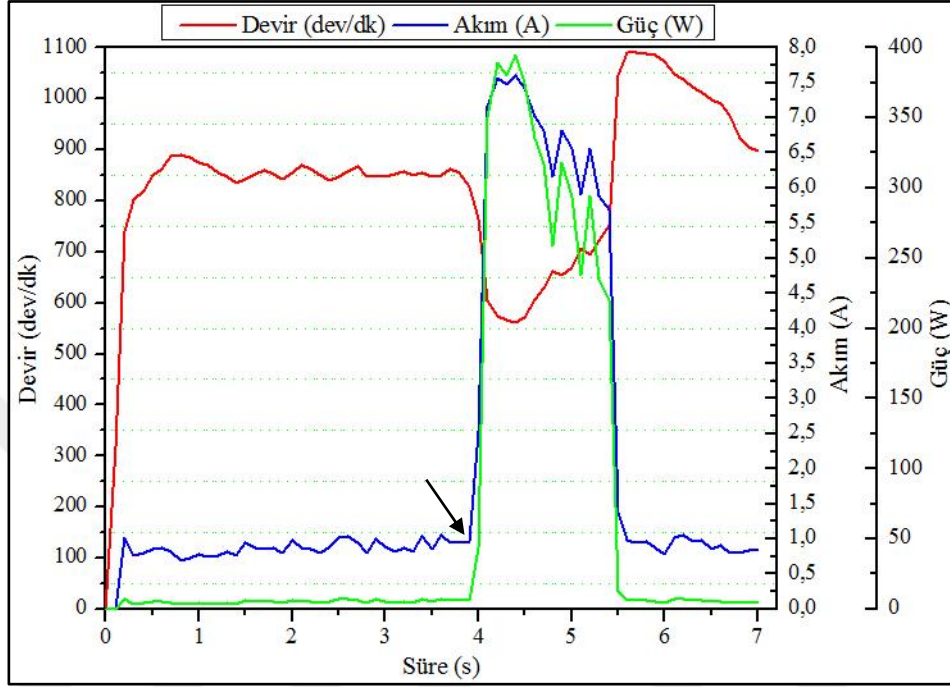
Şekil 5.19'da 850 dev/dk referans devir sayısı ve 0,1 mm/dev ilerleme hızına ilişkin talaş kaldırma işlemi boyunca iş mili motorundan alınan devir sayısı, akım ve güç verileri grafiksel olarak verilmektedir.



Şekil 5.19. BM denetimli, devir, akım ve güç grafiği (850 dev/dk, 0,1 mm/dev).

Şekil 5.19'da verilen grafik incelendiğinde, motor akımının 0,1 saniyelik periyotta 3,52 A seviyelerine yükseldiği, talaş kaldırma işlemine 13,1'inci saniyede geçilmesiyle, devir sayısına ait ortalama değerlerin referans değerleri yakaladığı, iş mili motorundan alınan ortalama akım değerinin 1,09 A seviyelerinden 3,90 A seviyelerine ve güç değerlerinin 8,59 W seviyelerinden 109,02 W seviyelerine yükseldiği gözlenmektedir. Kesici ucun iş parçasından ayrılmasıyla, iş mili motoru ortalama akım değerinin 1,00 A seviyelerine ve güç değerlerinin ise 6,89 W seviyelerine düştüğü gözlenmektedir.

Şekil 5.20’de 850 dev/dk referans devir sayısı ve 0,15 mm/dev ilerleme hızına ilişkin talaş kaldırma işlemi boyunca iş mili motorundan alınan devir sayısı, akım ve güç verileri grafiksel olarak verilmektedir.



Şekil 5.20. BM denetimli, devir, akım ve güç grafiği (850 dev/dk, 0,15 mm/dev).

Şekil 5.20’de verilen grafik incelendiğinde, motor akımının 0,2 saniyelik periyotta 1,03 A seviyelerine yükseldiği, talaş kaldırma işlemine 4,5’inci saniyede geçilmesiyle, devir sayısına ait ortalama değerlerin referans değerleri yakaladığı, iş mili motorundan alınan ortalama akım değerinin 0,85 A seviyelerinden 6,48 A seviyelerine ve güç değerlerinin 5,14 W seviyelerinden 296,31 W seviyelerine yükseldiği gözlenmektedir. Kesici ucun iş parçasından ayrılmasıyla, iş mili motoru ortalama akım değerinin 0,94 A seviyelerine ve ortalama güç değerlerinin ise 6,14 W seviyelerine düştüğü gözlenmektedir.

Çizelge 5.9’de 850 dev/dk referans devir sayısında, 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarına ilişkin gerçekleştirilen deneylere ait sayısal veriler sunulmaktadır. Çizelge incelendiğinde TKA içerisinde kesme hızının artışına bağlı olarak ortalama akım, güç değerlerinin yükseldiği ve enerji tüketiminin de kesme hızıyla artış gösterdiği belirlenmiştir.

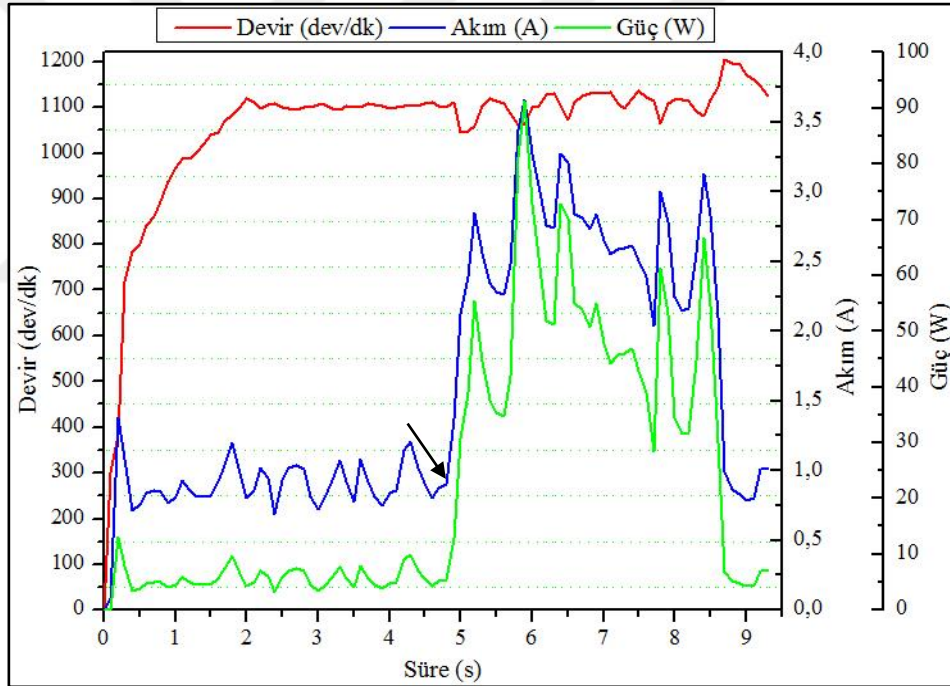
Çizelge 5.9. BM yöntemiyle, 850 dev/dk devir sayısı 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarıyla gerçekleştirilen deneylere ilişkin sayısal veriler.

İlerleme Hızı (mm/dev)	İşlem Türü	İşlem Zaman Aralığı (s)		Ortalama			Enerji Tüketimi (Ws)
				Devir Sayısı (dev/dk)	Akım (A)	Güç (W)	
0,05	TKÖ	Baş.	0	834,06	0,84	5,03	61,36
		Bit.	12,2				
	TKA	Baş.	12,3	842,88	2,59	46,50	167,39
		Bit.	15,8				
	TKS	Baş.	15,9	941,84	1,05	7,59	5,32
		Bit.	16,5				
	Yükselme Süresi (s) :				0,9		
Aşma Yüzdesi (%) :				10			
Yerleşme Zamanı (s) :				4,2			
İlerleme Hızı (mm/dev)	İşlem Türü	İşlem Zaman Aralığı (s)		Ortalama			Enerji Tüketimi (Ws)
				Devir Sayısı (dev/dk)	Akım (A)	Güç (W)	
0,15	TKÖ	Baş.	0	870,44	1,09	8,59	111,70
		Bit.	13,0				
	TKA	Baş.	13,1	819,98	3,90	109,0	207,14
		Bit.	14,9				
	TKS	Baş.	15,0	1017,88	1,0	6,89	4,82
		Bit.	15,6				
	Yükselme Süresi (s) :				0,5		
Aşma Yüzdesi (%) :				25			
Yerleşme Zamanı (s) :				2,9			
İlerleme Hızı (mm/dev)	İşlem Türü	İşlem Zaman Aralığı (s)		Ortalama			Enerji Tüketimi (Ws)
				Devir Sayısı (dev/dk)	Akım (A)	Güç (W)	
0,15	TKÖ	Baş.	0	837,07	0,85	5,14	20,05
		Bit.	3,9				
	TKA	Baş.	4,0	649,38	6,48	296,3	444,47
		Bit.	5,4				
	TKS	Baş.	5,5	1017,37	0,94	6,14	9,83
		Bit.	7,0				
	Yükselme Süresi (s) :				0,7		
Aşma Yüzdesi (%) :				5			
Yerleşme Zamanı (s) :				2,8			

5.3.2. BM Yöntemi İle 1100 Devir Sayısı (dev/dk) Ve 0,05, 0,1, 0,15 (mm/dev) İlerleme Hızlarına İlişkin Deneyler

İş mili motorunun BM denetimli olarak 1100 dev/dk referans devir sayılarında ve bu devir sayıları için kesici takıma uygulanan 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarına ilişkin gerçekleştirilen talaş kaldırma deneyleri Şekil 5.21, Şekil 5.22 ve Şekil 5.23'te verilmektedir. Deneylere ilişkin sayısal veriler Çizelge 5.10'da sunulmaktadır.

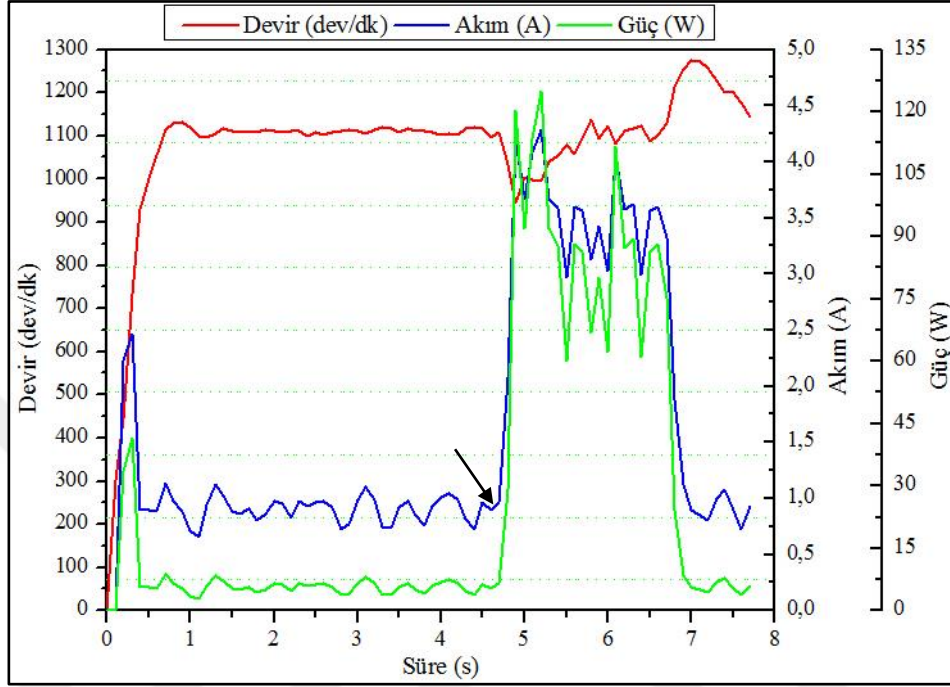
Şekil 5.21'de 1100 dev/dk referans devir sayısı ve 0,05 mm/dev ilerleme hızına ilişkin talaş kaldırma işlemi boyunca iş mili motorundan alınan devir sayısı, akım ve güç verileri grafiksel olarak verilmektedir.



Şekil 5.21. BM denetimli, devir, akım ve güç grafiği (1100 dev/dk, 0,05 mm/dev).

Şekil 5.21'de verilen grafik incelendiğinde, motor akımının 0,2 saniyelik periyotta 1,38 A seviyelerine yükseldiği, talaş kaldırma işlemine 4,9'uncu saniyede geçilmesiyle, devir sayısına ait ortalama değerlerin referans değerleri yakaladığı, iş mili motorundan alınan ortalama akım değerinin 0,90 A seviyelerinden 2,64 A seviyelerine ve güç değerlerinin 5,70 W seviyelerinden 48,70 W seviyelerine yükseldiği gözlenmektedir.

Şekil 5.22’de 1100 dev/dk referans devir sayısı ve 0,1 mm/dev ilerleme hızına ilişkin talaş kaldırma işlemi boyunca iş mili motorundan alınan devir sayısı, akım ve güç verileri grafiksel olarak verilmektedir.

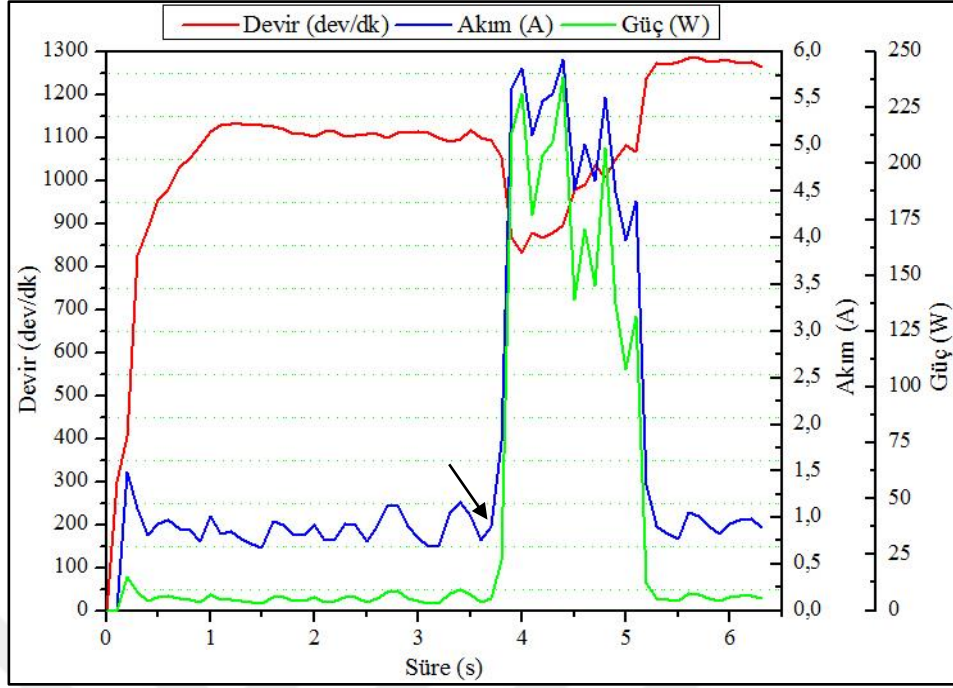


Şekil 5.22. BM denetimli, devir, akım ve güç grafiği (1100 dev/dk, 0,1 mm/dev).

Şekil 5.22’de verilen grafik incelendiğinde, motor akımının 0,2 saniyelik periyotta 2,22 A seviyelerine yükseldiği, talaş kaldırma işlemine 4,8’inci saniyede geçilmesiyle, devir sayısına ait ortalama değerlerin referans değerleri yakaladığı, iş mili motorundan alınan ortalama akım değerinin 0,95 A seviyelerinden 3,42 A seviyelerine ve güç değerlerinin 6,92 W seviyelerinden 82,20 W seviyelerine yükseldiği gözlenmektedir.

Kesici ucun iş parçasından ayrılmasıyla, iş mili motoru ortalama akım değerinin 0,92 A seviyelerine ve güç değerlerinin ise 5,91 W seviyelerine düştüğü gözlenmektedir.

Şekil 5.23’te 1100 dev/dk referans devir sayısı ve 0,15 mm/dev ilerleme hızına ilişkin talaş kaldırma işlemi boyunca iş mili motorundan alınan devir sayısı, akım ve güç verileri grafiksel olarak verilmektedir.



Şekil 5.23. BM denetimli, devir, akım ve güç grafiği (1100 dev/dk, 0,15 mm/dev).

Şekil 5.23'te verilen grafik incelendiğinde, motor akımının 0,2 saniyelik periyotta 1,49 A seviyelerine yükseldiği, talaş kaldırma işlemine 3,8'inci saniyede geçilmesiyle, devir sayısına ait ortalama değerlerin referans değerleri yakaladığı, iş mili motorundan alınan ortalama akım değerinin 0,87 A seviyelerinden 4,84 A seviyelerine ve güç değerlerinin 5,52 W seviyelerinden 166,9 W seviyelerine yükseldiği gözlenmektedir.

Kesici ucun iş parçasından ayrılmasıyla, iş mili motoru ortalama akım değerinin 0,96 A seviyelerine ve ortalama güç değerlerinin ise 6,14 W seviyelerine düştüğü gözlenmektedir.

Çizelge 5.10'da 1100 dev/dk referans devir sayısında, 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarına ilişkin gerçekleştirilen deneylere ait sayısal veriler sunulmaktadır. Çizelge incelendiğinde TKA içerisinde kesme hızının artışına bağlı olarak ortalama akım, güç değerlerinin yükseldiği ve enerji tüketiminin de kesme hızıyla artış gösterdiği belirlenmiştir.

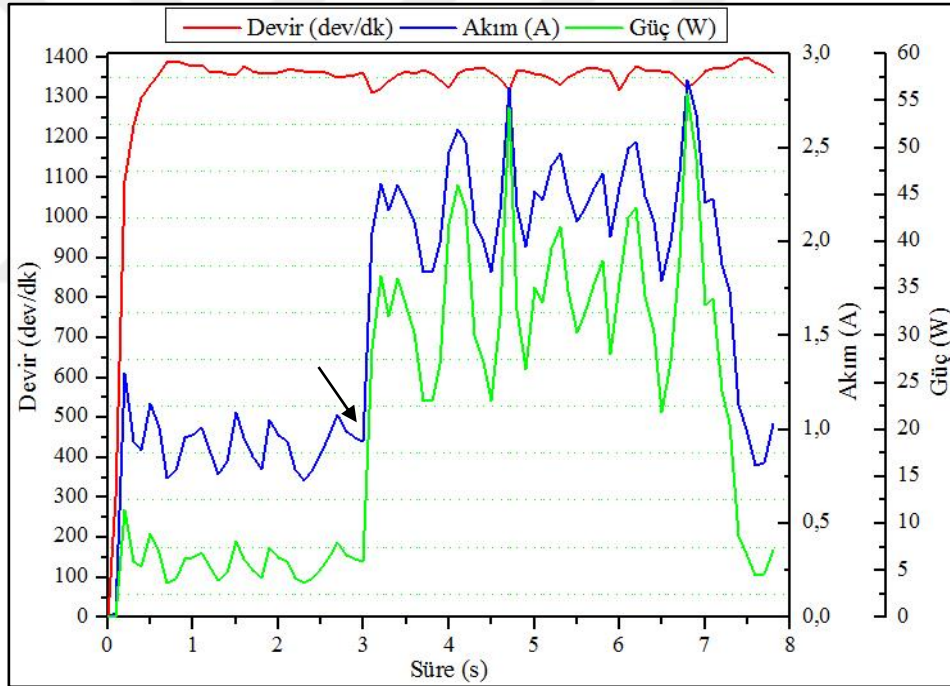
Çizelge 5.10. BM yöntemiyle, 1359 dev/dk devir sayısı 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarıyla gerçekleştirilen deneylere ilişkin sayısal veriler.

İlerleme Hızı (mm/dev)	İşlem Türü	İşlem Zaman Aralığı (s)		Ortalama			Enerji Tüketimi (Ws)
				Devir Sayısı (dev/dk)	Akım (A)	Güç (W)	
0,05	TKÖ	Baş.	0	1016,95	0,90	5,70	27,34
		Bit.	4,8				
	TKA	Baş.	4,9	1104,53	2,64	48,70	185,07
		Bit.	8,6				
	TKS	Baş.	8,7	1170,85	0,91	5,58	3,91
		Bit.	9,3				
	Yükselme Süresi (s) :				2,1		
Aşma Yüzdesi (%) :				2			
Yerleşme Zamanı (s) :				2,8			
İlerleme Hızı (mm/dev)	İşlem Türü	İşlem Zaman Aralığı (s)		Ortalama			Enerji Tüketimi (Ws)
				Devir Sayısı (dev/dk)	Akım (A)	Güç (W)	
0,15	TKÖ	Baş.	0	1063,86	0,95	6,92	32,54
		Bit.	4,7				
	TKA	Baş.	4,8	1077,28	3,42	82,20	172,63
		Bit.	6,8				
	TKS	Baş.	6,9	1223,43	0,92	5,91	5,32
		Bit.	7,7				
	Yükselme Süresi (s) :				0,9		
Aşma Yüzdesi (%) :				2			
Yerleşme Zamanı (s) :				2,2			
İlerleme Hızı (mm/dev)	İşlem Türü	İşlem Zaman Aralığı (s)		Ortalama			Enerji Tüketimi (Ws)
				Devir Sayısı (dev/dk)	Akım (A)	Güç (W)	
0,15	TKÖ	Baş.	0	1045,20	0,87	5,52	20,43
		Bit.	3,7				
	TKA	Baş.	3,8	963,82	4,84	167,0	233,78
		Bit.	5,1				
	TKS	Baş.	5,2	1273,54	0,96	6,36	7,63
		Bit.	6,3				
	Yükselme Süresi (s) :				1,3		
Aşma Yüzdesi (%) :				3			
Yerleşme Zamanı (s) :				1,9			

5.3.3. BM Yöntemi İle 1359 Devir (dev/dk) Sayısı Ve 0,05, 0,1, 0,15 (mm/dev) İlerleme Hızlarına İlişkin Deneyler

İş mili motorunun BM denetimli olarak 1359 dev/dk referans devir sayılarında ve bu devir sayıları için kesici takıma uygulanan 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarına ilişkin gerçekleştirilen talaş kaldırma deneyleri Şekil 5.24, Şekil 5.25 ve Şekil 5.26'da verilmektedir. Deneylere ilişkin sayısal veriler Çizelge 5.11'de sunulmaktadır.

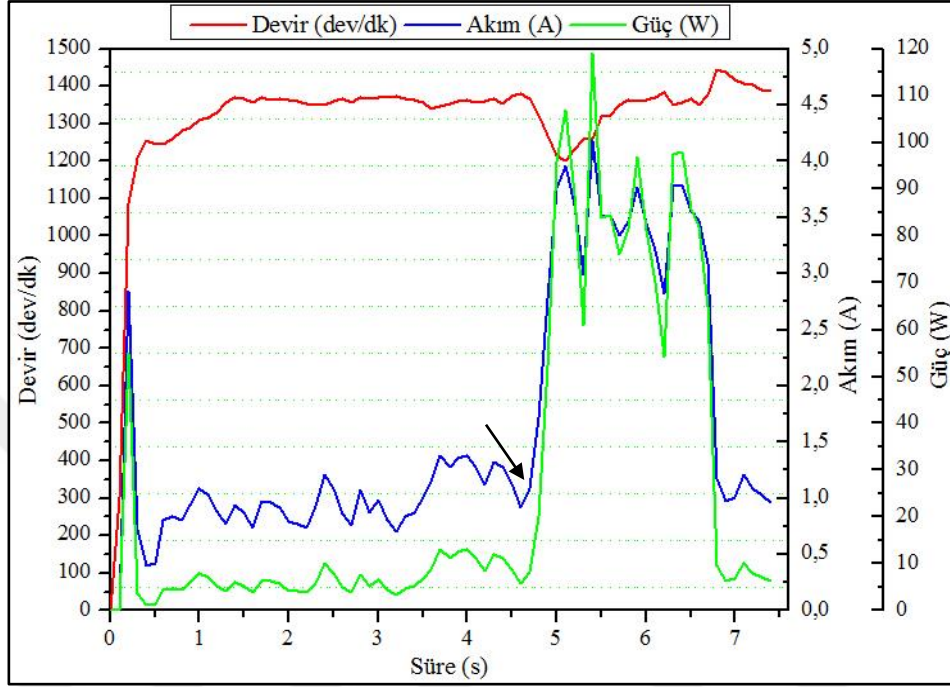
Şekil 5.24'te 1359 dev/dk referans devir sayısı ve 0,05 mm/dev ilerleme hızına ilişkin talaş kaldırma işlemi boyunca iş mili motorundan alınan devir sayısı, akım ve güç verileri grafiksel olarak verilmektedir.



Şekil 5.24. BM denetimli, devir, akım ve güç grafiği (1359 dev/dk, 0,05 mm/dev).

Şekil 5.24'te verilen grafik incelendiğinde, motor akımının 0,2 saniyelik periyotta 1,30 A seviyelerine yükseldiği, talaş kaldırma işlemine 3,1'inci saniyede geçilmesiyle, devir sayısına ait ortalama değerlerin referans değerleri yakaladığı, iş mili motorundan alınan ortalama akım değerinin 0,90 A seviyelerinden 2,24 A seviyelerine ve güç değerlerinin 5,82 W seviyelerinden 34,67 W seviyelerine yükseldiği gözlenmektedir.

Şekil 5.25'te 1359 dev/dk referans devir sayısı ve 0,1 mm/dev ilerleme hızına ilişkin talaş kaldırma işlemi boyunca iş mili motorundan alınan devir sayısı, akım ve güç verileri grafiksel olarak verilmektedir.

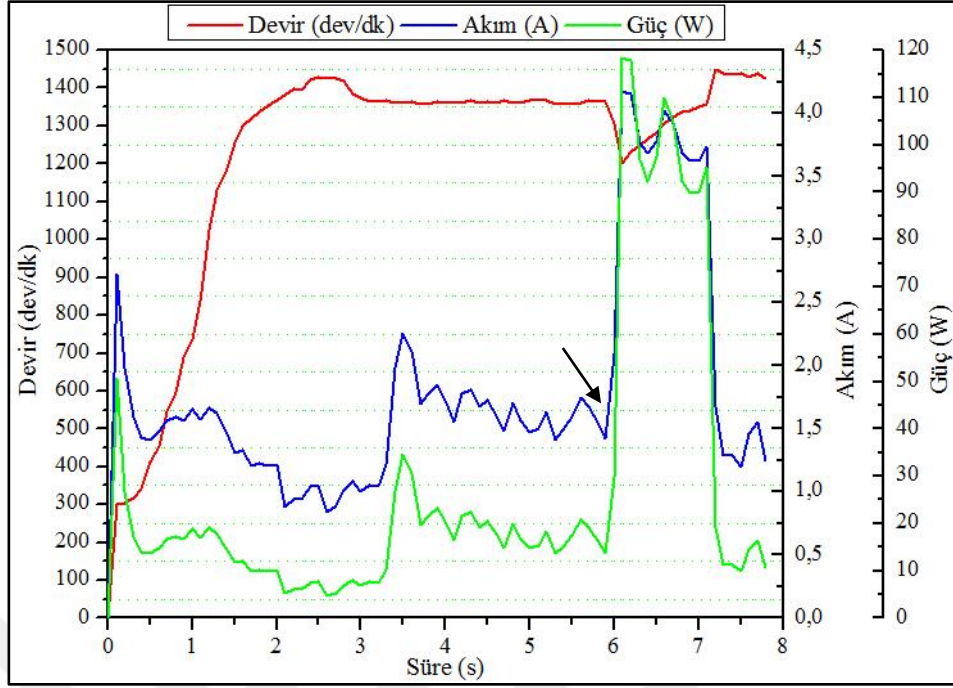


Şekil 5.25. BM denetimli, devir, akım ve güç grafiği (1359 dev/dk, 0,1 mm/dev).

Şekil 5.25'te verilen grafik incelendiğinde, motor akımının 0,2 saniyelik periyotta 2,84 A seviyelerine yükseldiği, talaş kaldırma işlemine 4,8'inci saniyede geçilmesiyle, devir sayısına ait ortalama değerlerin referans değerleri yakaladığı, iş mili motorundan alınan ortalama akım değerinin 0,98 A seviyelerinden 3,39 A seviyelerine ve güç değerlerinin 7,47 W seviyelerinden 80,03 W seviyelerine yükseldiği gözlenmektedir.

Kesici ucun iş parçasından ayrılmasıyla, iş mili motoru ortalama akım değerinin 1,06 A seviyelerine ve güç değerlerinin ise 7,76 W seviyelerine düştüğü gözlenmektedir.

Şekil 5.26'da 1359 dev/dk referans devir sayısı ve 0,15 mm/dev ilerleme hızına ilişkin talaş kaldırma işlemi boyunca iş mili motorundan alınan devir sayısı, akım ve güç verileri grafiksel olarak verilmektedir.



Şekil 5.26. BM denetimli, devir, akım ve güç grafiği (1359 dev/dk, 0,15 mm/dev).

Şekil 5.26'da verilen grafik incelendiğinde, motor akımının 0,1 saniyelik periyotta 2,73 A seviyelerine yükseldiği, talaş kaldırma işlemine 3,4'üncü saniyede geçilmesiyle, devir sayısına ait ortalama değerlerin referans değerleri yakaladığı, iş mili motorundan alınan ortalama akım değerinin 1,33 A seviyelerinden 2,32 A seviyelerine ve güç değerlerinin 13,00 W seviyelerinden 43,31 W seviyelerine yükseldiği gözlenmektedir.

Kesici ucun iş parçasından ayrılmasıyla, iş mili motoru ortalama akım değerinin 1,39 A seviyelerine ve ortalama güç değerlerinin ise 13,33 W seviyelerine düştüğü gözlenmektedir.

Çizelge 5.11'de 1359 dev/dk referans devir sayısında, 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarına ilişkin gerçekleştirilen deneylere ait sayısal veriler sunulmaktadır. Çizelge incelendiğinde TKA içerisinde kesme hızının artışına bağlı olarak ortalama akım, güç değerlerinin yükseldiği ve enerji tüketiminin de kesme hızıyla artış gösterdiği belirlenmiştir.

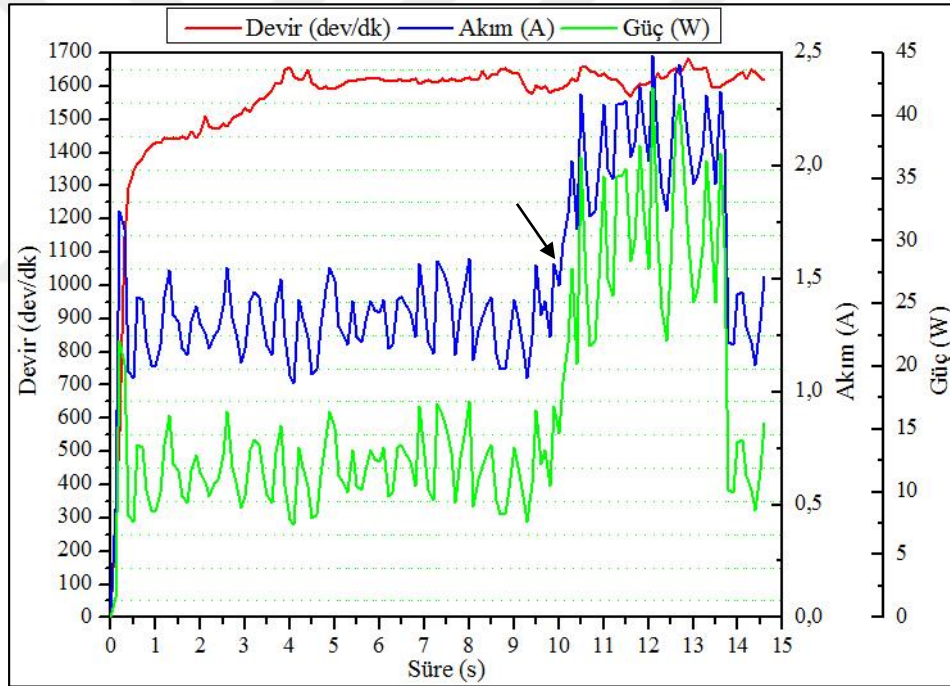
Çizelge 5.11. BM yöntemiyle, 1359 dev/dk devir sayısı, 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarıyla gerçekleştirilen deneylere ilişkin sayısal veriler.

İlerleme Hızı (mm/dev)	İşlem Türü	İşlem Zaman Aralığı (s)		Ortalama			Enerji Tüketimi (Ws)
				Devir Sayısı (dev/dk)	Akım (A)	Güç (W)	
0,05	TKÖ	Baş.	0	1314,51	0,90	5,82	17,46
		Bit.	3,0				
	TKA	Baş.	3,1	1355,48	2,24	34,67	142,16
		Bit.	7,1				
	TKS	Baş.	7,2	1383,47	1,20	10,89	7,64
		Bit.	7,8				
	Yükselme Süresi (s) :				1,2		
Aşma Yüzdesi (%) :				4			
Yerleşme Zamanı (s) :				2,2			
İlerleme Hızı (mm/dev)	İşlem Türü	İşlem Zaman Aralığı (s)		Ortalama			Enerji Tüketimi (Ws)
				Devir Sayısı (dev/dk)	Akım (A)	Güç (W)	
0,15	TKÖ	Baş.	0	1314,85	0,98	7,47	35,10
		Bit.	4,7				
	TKA	Baş.	4,8	1319,48	3,39	80,03	160,07
		Bit.	6,7				
	TKS	Baş.	6,8	1412,73	1,06	7,76	5,43
		Bit.	7,4				
	Yükselme Süresi (s) :				1,4		
Aşma Yüzdesi (%) :				4			
Yerleşme Zamanı (s) :				2,1			
İlerleme Hızı (mm/dev)	İşlem Türü	İşlem Zaman Aralığı (s)		Ortalama			Enerji Tüketimi (Ws)
				Devir Sayısı (dev/dk)	Akım (A)	Güç (W)	
0,15	TKÖ	Baş.	0	1059,48	1,33	13,0	42,89
		Bit.	3,3				
	TKA	Baş.	3,4	1341,49	2,32	43,31	164,57
		Bit.	7,1				
	TKS	Baş.	7,2	1436,43	1,39	13,33	9,33
		Bit.	7,8				
	Yükselme Süresi (s) :				2,2		
Aşma Yüzdesi (%) :				5			
Yerleşme Zamanı (s) :				2,9			

5.3.4. BM Yöntemi İle 1614 Devir Sayısı (dev/dk) Ve 0,05, 0,1, 0,15 (mm/dev) İlerleme Hızlarına İlişkin Deneyler

İş mili motorunun BM denetimli olarak 1614 dev/dk referans devir sayılarında ve bu devir sayıları için kesici takıma uygulanan 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarına ilişkin gerçekleştirilen talaş kaldırma deneyleri Şekil 5.27, Şekil 5.28 ve Şekil 5.29'da verilmektedir. Deneylere ilişkin sayısal veriler Çizelge 5.12'de sunulmaktadır.

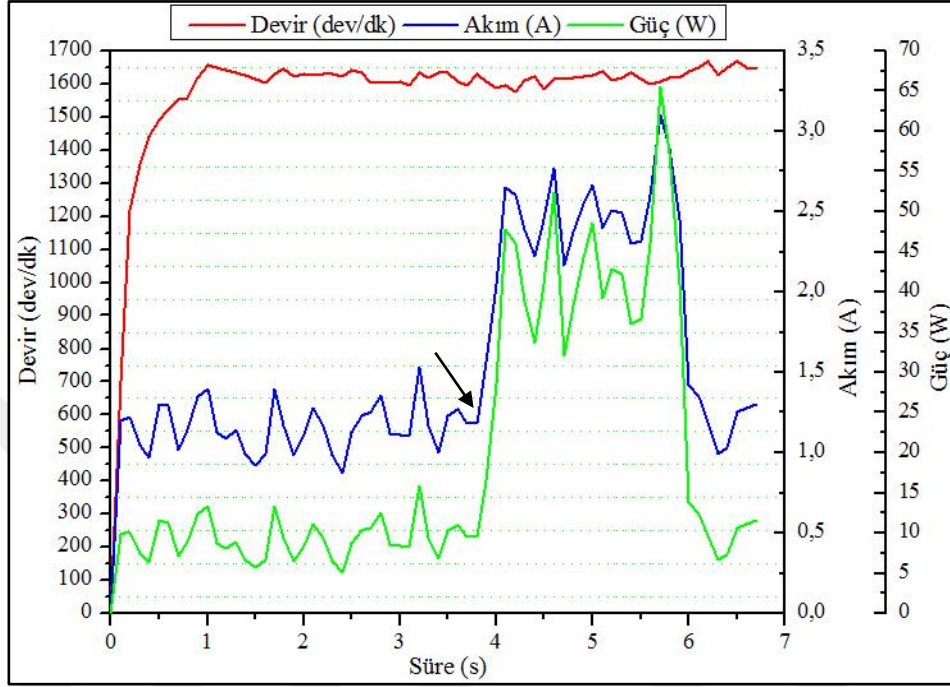
Şekil 5.27'de 1614 dev/dk referans devir sayısı ve 0,05 mm/dev ilerleme hızına ilişkin talaş kaldırma işlemi boyunca iş mili motorundan alınan devir sayısı, akım ve güç verileri grafiksel olarak verilmektedir.



Şekil 5.27. BM denetimli, devir, akım ve güç grafiği (1614 dev/dk, 0,05 mm/dev).

Şekil 5.27'de verilen grafik incelendiğinde, motor akımının 0,2 saniyelik periyotta 1,80 A seviyelerine yükseldiği, talaş kaldırma işlemine 10,3'üncü saniyede geçilmesiyle, devir sayısına ait ortalama değerlerin referans değerleri yakaladığı, iş mili motorundan alınan ortalama akım değerinin 1,32 A seviyelerinden 2,10 A seviyelerine ve güç değerlerinin 12,07 W seviyelerinden 30,36 W seviyelerine yükseldiği gözlenmektedir.

Şekil 5.28’de 1614 dev/dk referans devir sayısı ve 0,1 mm/dev ilerleme hızına ilişkin talaş kaldırma işlemi boyunca iş mili motorundan alınan devir sayısı, akım ve güç verileri grafiksel olarak verilmektedir.

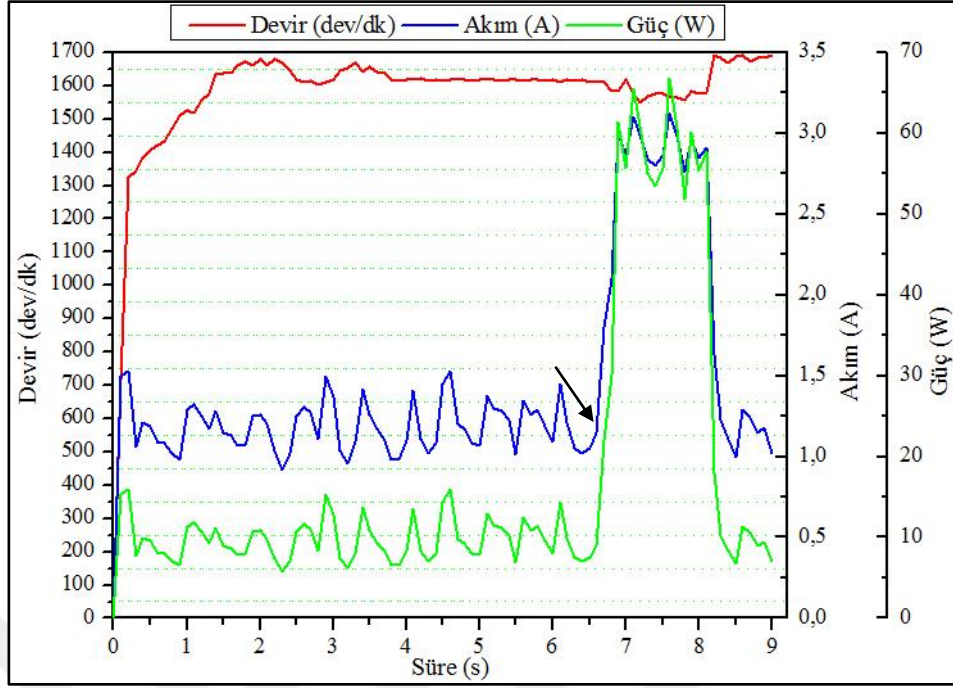


Şekil 5.28. BM denetimli, devir, akım ve güç grafiği (1614 dev/dk, 0,1 mm/dev).

Şekil 5.28’de verilen grafik incelendiğinde, motor akımının 0,2 saniyelik periyotta 1,22 A seviyelerine yükseldiği, talaş kaldırma işlemine 3,9’uncu saniyede geçilmesiyle, devir sayısına ait ortalama değerlerin referans değerleri yakaladığı, iş mili motorundan alınan ortalama akım değerinin 1,16 A seviyelerinden 2,45 A seviyelerine ve güç değerlerinin 9,29 W seviyelerinden 41,67 W seviyelerine yükseldiği gözlenmektedir.

Kesici ucun iş parçasından ayrılmasıyla, iş mili motoru ortalama akım değerinin 1,23 A seviyelerine ve güç değerlerinin ise 10,38 W seviyelerine düştüğü gözlenmektedir.

Şekil 5.29’da 1614 dev/dk referans devir sayısı ve 0,15 mm/dev ilerleme hızına ilişkin talaş kaldırma işlemi boyunca iş mili motorundan alınan devir sayısı, akım ve güç verileri grafiksel olarak verilmektedir.



Şekil 5.29. BM denetimli, devir, akım ve güç grafiği (1614 dev/dk, 0,15 mm/dev).

Şekil 5.29’da verilen grafik incelendiğinde, motor akımının 0,2 saniyelik periyotta 1,53 A seviyelerine yükseldiği, talaş kaldırma işlemine 6,7’nci saniyede geçilmesiyle, devir sayısına ait ortalama değerlerin referans değerleri yakaladığı, iş mili motorundan alınan ortalama akım değerinin 1,19 A seviyelerinden 2,80 A seviyelerine ve güç değerlerinin 9,78 W seviyelerinden 54,14 W seviyelerine yükseldiği gözlenmektedir.

Kesici ucun iş parçasından ayrılmasıyla, iş mili motoru ortalama akım değerinin 1,19 A seviyelerine ve ortalama güç değerlerinin ise 10,12 W seviyelerine düştüğü gözlenmektedir.

Çizelge 5.12’de 1614 dev/dk referans devir sayısında, 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarına ilişkin gerçekleştirilen deneylere ait sayısal veriler sunulmaktadır. Çizelge incelendiğinde TKA içerisinde kesme hızının artışına bağlı olarak ortalama akım, güç değerlerinin yükseldiği ve enerji tüketiminin de kesme hızıyla artış gösterdiği belirlenmiştir.

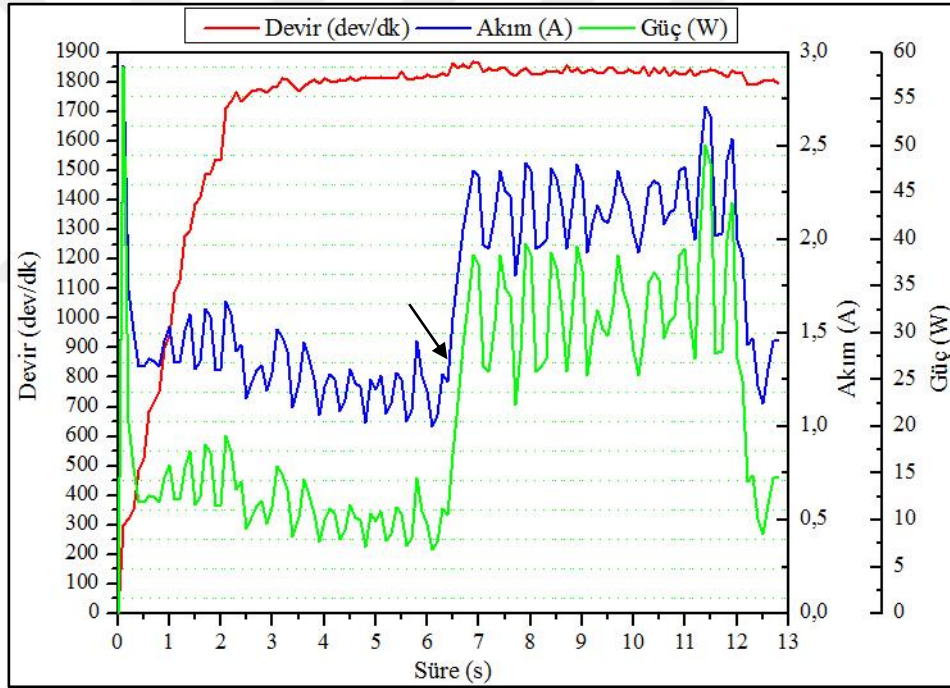
Çizelge 5.12. BM yöntemiyle, 1614 dev/dk devir sayısı, 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarıyla gerçekleştirilen deneylere ilişkin sayısal veriler.

İlerleme Hızı (mm/dev)	İşlem Türü	İşlem Zaman Aralığı (s)		Ortalama			Enerji Tüketimi (Ws)
				Devir Sayısı (dev/dk)	Akım (A)	Güç (W)	
0,05	TKÖ	Baş.	0	1540,09	1,31	12,07	123,09
		Bit.	10,2				
	TKA	Baş.	10,3	1627,04	2,10	30,36	106,26
		Bit.	13,7				
	TKS	Baş.	13,8	1630,02	1,32	11,72	10,55
		Bit.	14,6				
	Yükselme Süresi (s) :				3,9		
Aşma Yüzdesi (%) :				6			
Yerleşme Zamanı (s) :				5,3			
İlerleme Hızı (mm/dev)	İşlem Türü	İşlem Zaman Aralığı (s)		Ortalama			Enerji Tüketimi (Ws)
				Devir Sayısı (dev/dk)	Akım (A)	Güç (W)	
0,15	TKÖ	Baş.	0	1568,24	1,16	9,29	35,29
		Bit.	3,8				
	TKA	Baş.	3,9	1612,26	2,45	41,67	87,51
		Bit.	5,9				
	TKS	Baş.	6,0	1650,33	1,23	10,38	8,31
		Bit.	6,7				
	Yükselme Süresi (s) :				1,1		
Aşma Yüzdesi (%) :				4			
Yerleşme Zamanı (s) :				2,9			
İlerleme Hızı (mm/dev)	İşlem Türü	İşlem Zaman Aralığı (s)		Ortalama			Enerji Tüketimi (Ws)
				Devir Sayısı (dev/dk)	Akım (A)	Güç (W)	
0,15	TKÖ	Baş.	0	1583,46	1,19	9,78	64,52
		Bit.	6,6				
	TKA	Baş.	6,7	1577,73	2,80	54,14	81,22
		Bit.	8,1				
	TKS	Baş.	8,2	1683,80	1,21	10,12	9,10
		Bit.	9,0				
	Yükselme Süresi (s) :				2,1		
Aşma Yüzdesi (%) :				5			
Yerleşme Zamanı (s) :				3,8			

5.3.5. BM Yöntemi İle 1868 Devir Sayısı (dev/dk) Ve 0,05, 0,15 (mm/dev) İlerleme Hızlarına İlişkin Deneyler

İş mili motorunun BM denetimli olarak 1868 dev/dk referans devir sayılarında ve bu devir sayıları için kesici takıma uygulanan 0,05 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarına ilişkin gerçekleştirilen talaş kaldırma deneyleri Şekil 5.30 ve Şekil 5.31’de verilmektedir. Deneylere ilişkin sayısal veriler Çizelge 5.13’te sunulmaktadır.

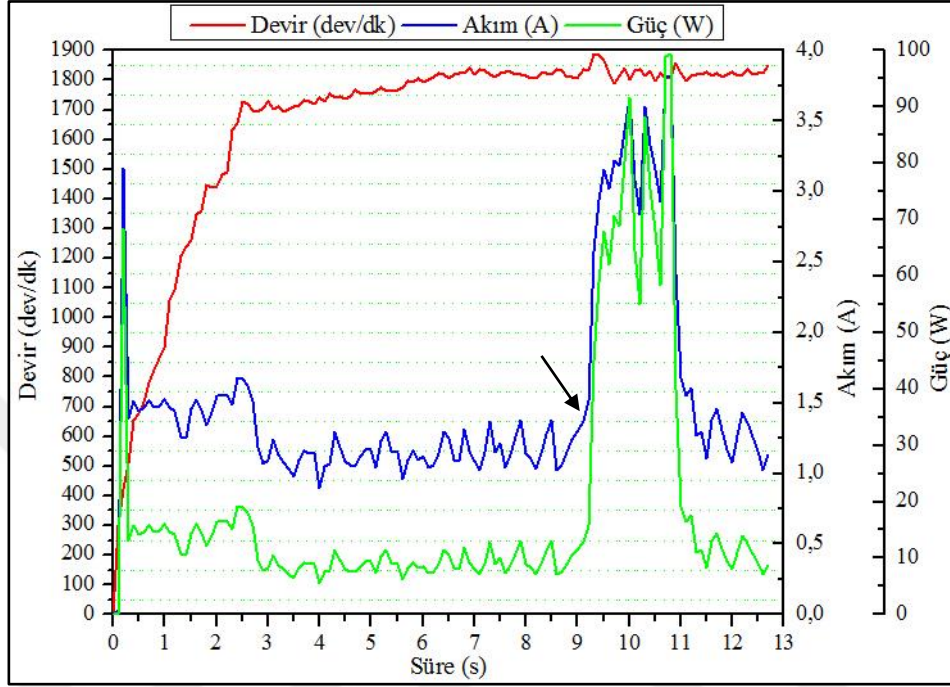
Şekil 5.30’da 1868 dev/dk referans devir sayısı ve 0,05 mm/dev ilerleme hızına ilişkin talaş kaldırma işlemi boyunca iş mili motorundan alınan devir sayısı, akım ve güç verileri grafiksel olarak verilmektedir.



Şekil 5.30. BM denetimli, devir, akım ve güç grafiği (1868 dev/dk, 0,05 mm/dev).

Şekil 5.30’da verilen grafik incelendiğinde, motor akımının 0,2 saniyelik periyotta 2,93 A seviyelerine yükseldiği, talaş kaldırma işlemine 6,5’inci saniyede geçilmesiyle, devir sayısına ait ortalama değerlerin referans değerleri yakaladığı, iş mili motorundan alınan ortalama akım değerinin 1,33 A seviyelerinden 2,18 A seviyelerine ve güç değerlerinin 12,58 W seviyelerinden 32,74 W seviyelerine yükseldiği gözlenmektedir.

Şekil 5.31’de 1868 dev/dk referans devir sayısı ve 0,15 mm/dev ilerleme hızına ilişkin talaş kaldırma işlemi boyunca iş mili motorundan alınan devir sayısı, akım ve güç verileri grafiksel olarak verilmektedir.



Şekil 5.31. BM denetimli, devir, akım ve güç grafiği (1868 dev/dk, 0,15 mm/dev).

Şekil 5.31’de verilen grafik incelendiğinde, motor akımının 0,2 saniyelik periyotta 3,17 A seviyelerine yükseldiği, talaş kaldırma işlemine 9,2'nci saniyede geçilmesiyle, devir sayısına ait ortalama değerlerin referans değerleri yakaladığı, iş mili motorundan alınan ortalama akım değerinin 1,25 A seviyelerinden 3,13 A seviyelerine ve güç değerlerinin 11,24 W seviyelerinden 68,82 W seviyelerine yükseldiği gözlenmektedir.

Kesici ucun iş parçasından ayrılmasıyla, iş mili motoru ortalama akım değerinin 1,37 A seviyelerine ve güç değerlerinin ise 13,36 W seviyelerine düştüğü gözlenmektedir.

Çizelge 5.13’te 1868 dev/dk referans devir sayısında, 0,05 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarına ilişkin gerçekleştirilen deneylere ait sayısal veriler sunulmaktadır. Çizelge incelendiğinde TKA içerisinde kesme hızının artışına bağlı olarak ortalama akım, güç değerlerinin yükseldiği ve enerji tüketiminin de kesme hızıyla artış gösterdiği belirlenmiştir.

Çizelge 5.13. BM yöntemiyle, 1868 dev/dk devir sayısı, 0,05 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarıyla gerçekleştirilen deneylere ilişkin sayısal veriler.

İlerleme Hızı (mm/dev)	İşlem Türü	İşlem Zaman Aralığı (s)		Ortalama			Enerji Tüketimi (Ws)
				Devir Sayısı (dev/dk)	Akım (A)	Güç (W)	
0,05	TKÖ	Baş.	0	1541,28	1,33	12,58	80,54
		Bit.	6,4				
	TKA	Baş.	6,5	1837,35	2,18	32,74	180,09
		Bit.	11,9				
	TKS	Baş.	12,0	1804,12	1,49	15,60	14,04
		Bit.	12,8				
	Yükselme Süresi (s) :				3,3		
Aşma Yüzdesi (%) :				2			
Yerleşme Zamanı (s) :				4,1			
İlerleme Hızı (mm/dev)	İşlem Türü	İşlem Zaman Aralığı (s)		Ortalama			Enerji Tüketimi (Ws)
				Devir Sayısı (dev/dk)	Akım (A)	Güç (W)	
0,15	TKÖ	Baş.	0	1593,29	1,25	11,24	102,32
		Bit.	9,1				
	TKA	Baş.	9,2	1829,11	3,13	68,82	116,99
		Bit.	10,8				
	TKS	Baş.	10,9	1823,95	1,37	13,36	25,39
		Bit.	12,7				
	Yükselme Süresi (s) :				2,9		
Aşma Yüzdesi (%) :				2			
Yerleşme Zamanı (s) :				4,3			

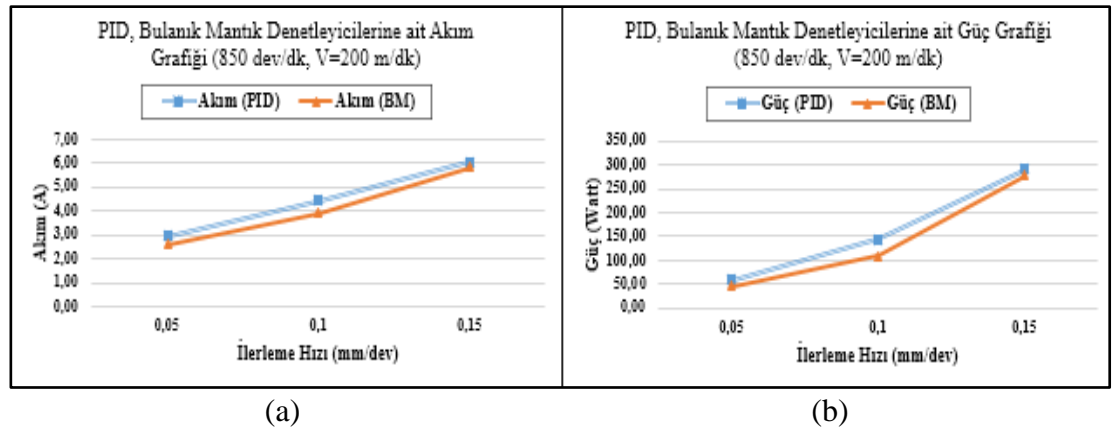
5.4. DENEYSEL ÇALIŞMALARLA İLİŞKİN AKIM, GÜÇ, ENERJİ TÜKETİMİ VE PÜRÜZLÜLÜK SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Takip eden bölümde, PID ve BM hız denetimi yöntemleriyle uygulanan 1100, 1359, 1614 ve 1868 referans devir sayılarına (dev/dk) bağlı olarak, farklı ilerleme hızlarıyla (0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev) gerçekleştirilen talaş kaldırma deneylerine ilişkin elde edilen akım, güç ve enerji tüketimi verileriyle işleme sonrası malzeme üzerindeki yüzey pürüzlülük verileri karşılaştırmalı olarak grafiksel olarak verilmektedir

5.4.1. Devir Sayısı 850 dev/dk İçin Akım, Güç, Enerji Tüketimi Ve Pürüzlülük Karşılaştırılması

PID ve BM hız denetimi yöntemleriyle, 850 referans devir sayısı (dev/dk) için, farklı ilerleme hızları uygulanarak gerçekleştirilen deneylere ilişkin, iş mili motorundan alınan akım, güç, enerji tüketimi ve pürüzlülük sonuçları Şekil 5.32 ve Şekil 5.33'te grafiksel olarak karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

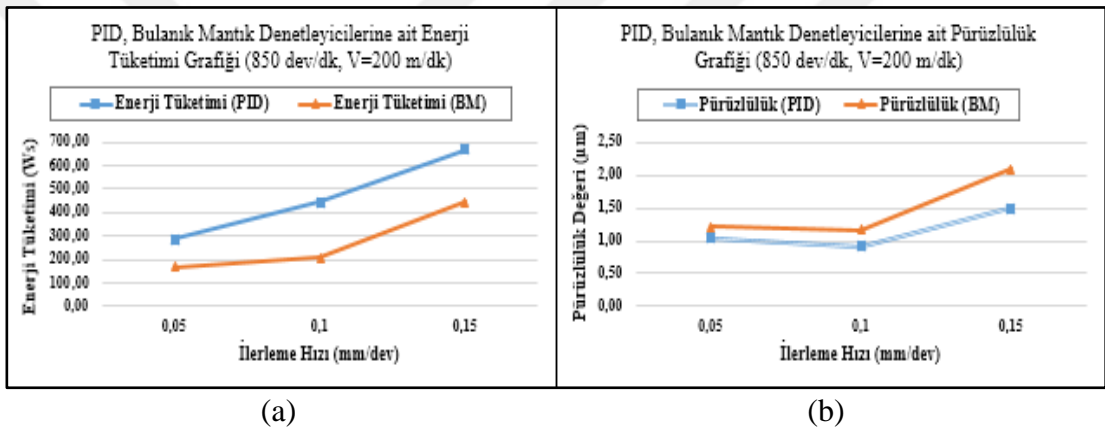
Şekil 5.32'de 850 referans devir sayısı (dev/dk) için, uygulanan 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarına bağlı olarak gerçekleştirilen deneylerde, iş mili motorundan alınan akım ve güç değerleri karşılaştırılmaktadır.



Şekil 5.32. 850 dev/dk devir sayısı referans değeri için, PID ve BM ile hız denetimi yöntemlerine ilişkin a) akım, b) güç değerleri.

Şekil 5.32 incelendiğinde ilerleme hızının artışına bağlı olarak, alınan akım ve güç ortalama değerlerinde yükselme olduğu gözlenmektedir. Deney sonuçlarına göre; akım ve güç değerleri bakımından, BM hız denetimi yöntemi, PID yöntemine göre, uygulanan tüm ilerleme hızları için daha düşük sonuçlar vererek, daha iyi bir performans göstermektedir.

Şekil 5.33'te 850 referans devir sayısı (dev/dk) için, uygulanan 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarının, işleme anındaki enerji tüketimine ve işleme sonrası malzeme üzerindeki yüzey pürüzlülüğüne olan etkileri grafiksel olarak karşılaştırılmaktadır.



Şekil 5.33. PID ve BM hız denetimi yöntemlerinin a) enerji tüketimi ve b) pürüzlülük sonuçlarının karşılaştırılması (850 dev/dk).

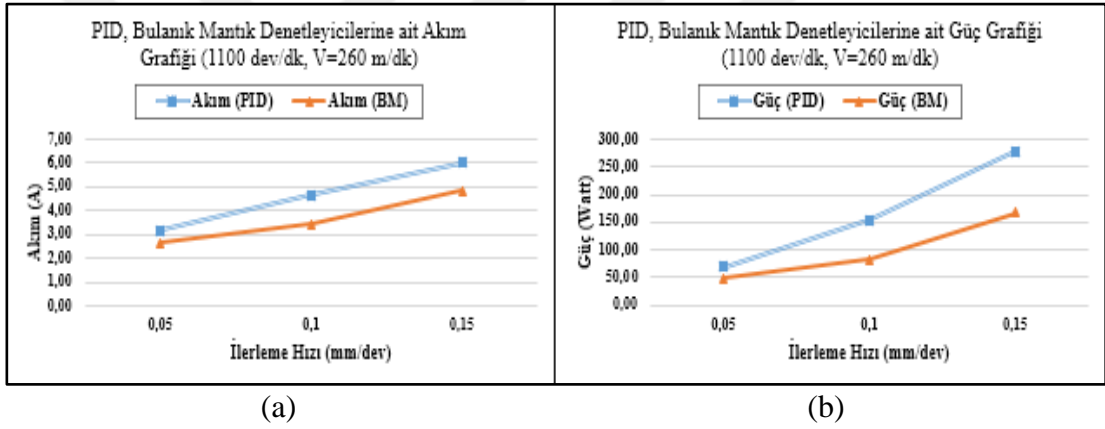
850 referans devir sayısında (dev/dk), farklı ilerleme hızlarına bağlı olarak gerçekleştirilen deneylerde, ilerleme hızının artışına bağlı olarak, enerji tüketimi değerlerinde yükselme gözlenmektedir.

Deney sonuçları enerji verimliliği yönünden incelendiğinde BM ile hız denetimi yöntemi işleme anında, PID yöntemine göre daha az enerji harcayarak, enerji verimliliği açısından daha iyi bir performans göstermektedir. İşleme sonrası malzeme üzerindeki yüzey pürüzlülüğü incelendiğinde, PID ile hız denetimi yöntemi, BM yöntemine göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmektedir.

5.4.2. Devir Sayısı 1100 dev/dk İçin Akım, Güç, Enerji Tüketimi Ve Pürüzlülük Karşılaştırılması

PID ve BM hız denetimi yöntemleriyle, 1100 referans devir sayısı (dev/dk) için, farklı ilerleme hızları uygulanarak gerçekleştirilen deneylere ilişkin, iş mili motorundan alınan akım, güç, enerji tüketimi ve pürüzlülük sonuçları Şekil 5.34 ve Şekil 5.35'te grafiksel olarak karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

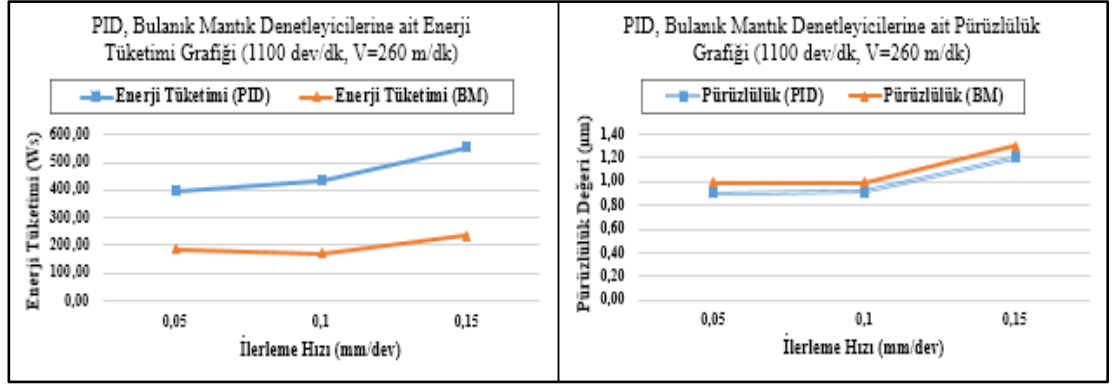
Şekil 5.34'te 1100 referans devir sayısı (dev/dk) için, uygulanan 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarına bağlı olarak gerçekleştirilen deneylerde, iş mili motorundan alınan akım ve güç değerleri karşılaştırılmaktadır.



Şekil 5.34. 1100 dev/dk devir sayısı referans değeri için, PID ve BM ile hız denetimi yöntemlerine ilişkin a) akım, b) güç değerleri.

Şekil 5.34 incelendiğinde ilerleme hızının artışına bağlı olarak, alınan akım ve güç ortalama değerlerinde yükselme olduğu gözlenmektedir. Deney sonuçlarına göre; akım ve güç değerleri bakımından, BM hız denetimi yöntemi, PID yöntemine göre, uygulanan tüm ilerleme hızları için daha düşük sonuçlar vererek, daha iyi bir performans göstermektedir.

Şekil 5.35'te 1100 referans devir sayısı (dev/dk) için, uygulanan 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarının, işleme anındaki enerji tüketimine ve işleme sonrası malzeme üzerindeki yüzey pürüzlülüğüne olan etkileri grafiksel olarak karşılaştırılmaktadır.



(a)

(b)

Şekil 5.35. PID ve BM hız denetimi yöntemlerinin a) enerji tüketimi ve b) pürüzlülük sonuçlarının karşılaştırılması (1100 dev/dk).

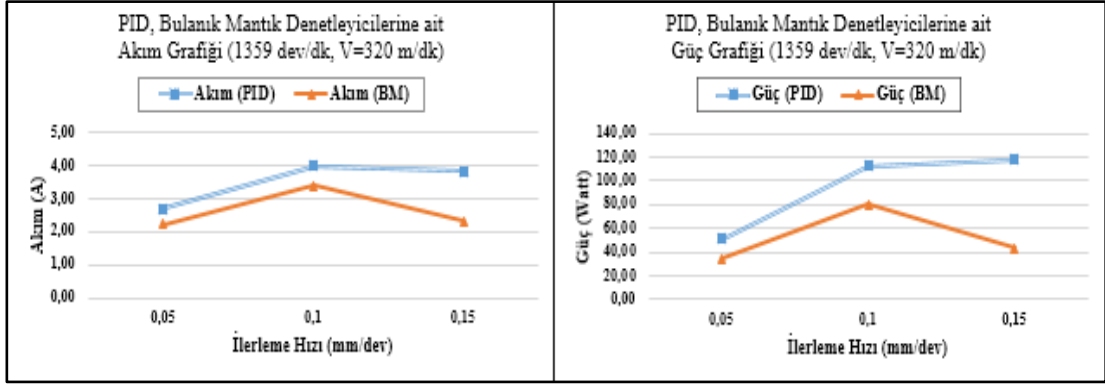
1100 referans devir sayısında (dev/dk), farklı ilerleme hızlarına bağlı olarak gerçekleştirilen deneylerde, ilerleme hızının artışına bağlı olarak, enerji tüketimi değerlerinde yükselme gözlenmektedir.

Deney sonuçları enerji verimliliği yönünden incelendiğinde BM ile hız denetimi yöntemi işleme anında, PID yöntemine göre daha az enerji harcayarak, enerji verimliliği açısından daha iyi bir performans göstermektedir.

İşleme sonrası malzeme üzerindeki yüzey pürüzlülüğü incelendiğinde, PID ile hız denetimi yöntemi, BM yöntemine göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmektedir.

5.4.3. Devir Sayısı 1359 dev/dk İçin Akım, Güç, Enerji Tüketimi Ve Pürüzlülük Karşılaştırılması

PID ve BM hız denetimi yöntemleriyle, 1359 referans devir sayısı (dev/dk) için, farklı ilerleme hızları uygulanarak gerçekleştirilen deneylere ilişkin, iş mili motorundan alınan akım, güç, enerji tüketimi ve pürüzlülük sonuçları Şekil 5.36 ve Şekil 5.37'de grafiksel olarak karşılaştırmalı olarak verilmektedir.



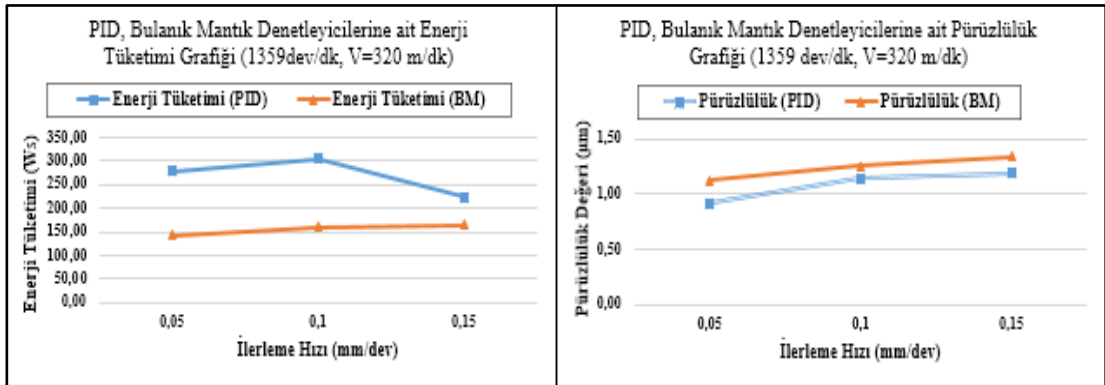
(a)

(b)

Şekil 5.36. 1359 dev/dk devir sayısı referans değeri için, PID ve BM ile hız denetimi yöntemlerine ilişkin a) akım, b) güç değerleri.

Şekil 5.36’da 1359 referans devir sayısı (dev/dk) için, uygulanan 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarına bağlı olarak gerçekleştirilen deneylerde, iş mili motorundan alınan akım ve güç değerleri karşılaştırılmaktadır. Şekil incelendiğinde ilerleme hızının artışına bağlı olarak, alınan akım ve güç ortalama değerlerinde yükselme olduğu gözlenmektedir. Deney sonuçlarına göre; akım ve güç değerleri bakımından, BM hız denetimi yöntemi, PID yöntemine göre, uygulanan tüm ilerleme hızları için daha düşük sonuçlar vererek, daha iyi bir performans göstermektedir.

Şekil 5.37’de 1359 dev/dk devir sayısında, PID ve BM ile hız denetimi yöntemlerine ilişkin enerji tüketimi ve imalat işlemi sonrası malzeme üzerindeki yüzey pürüzlülük verileri grafiksel olarak karşılaştırmalı olarak verilmektedir.



(a)

(b)

Şekil 5.37. PID ve BM hız denetimi yöntemlerinin a) enerji tüketimi ve b) pürüzlülük sonuçlarının karşılaştırılması (1359 dev/dk).

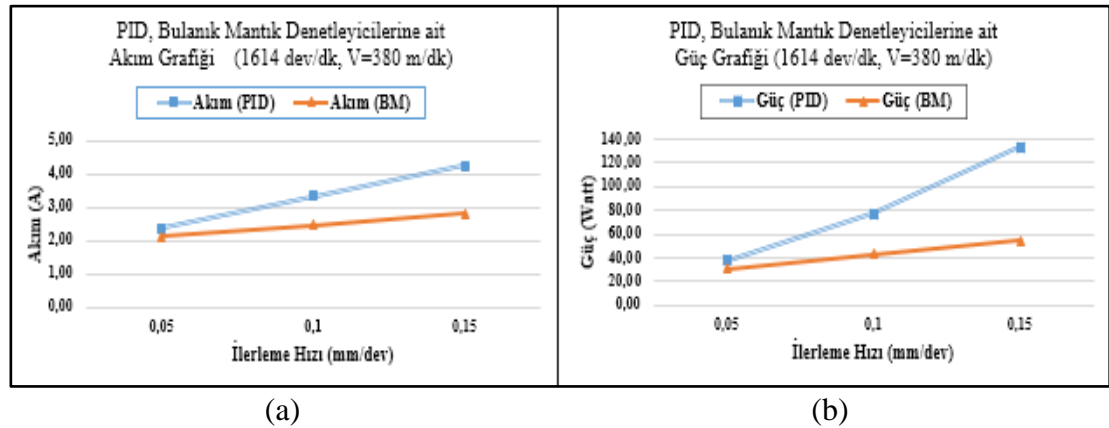
1359 referans devir sayısında (dev/dk), farklı ilerleme hızlarına bağlı olarak gerçekleştirilen deneylerde, ilerleme hızının artmasına bağlı olarak, enerji tüketimi değerlerinde yükselme gözlenmektedir.

Deney sonuçları enerji verimliliği yönünden incelendiğinde BM ile hız denetimi yöntemi işleme anında, PID yöntemine göre daha az enerji harcayarak, enerji verimliliği açısından daha iyi bir performans göstermektedir. İşleme sonrası malzeme üzerindeki yüzey pürüzlülüğü incelendiğinde, PID ile hız denetimi yöntemi, BM yöntemine göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmektedir.

5.4.4. Devir Sayısı 1614 dev/dk İçin Akım, Güç, Enerji Tüketimi Ve Pürüzlülük Karşılaştırılması

PID ve BM hız denetimi yöntemleriyle, 1614 referans devir sayısı (dev/dk) için, farklı ilerleme hızları uygulanarak gerçekleştirilen deneylere ilişkin, iş mili motorundan alınan akım, güç, enerji tüketimi ve pürüzlülük sonuçları Şekil 5.38 ve Şekil 5.39'da grafiksel olarak karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

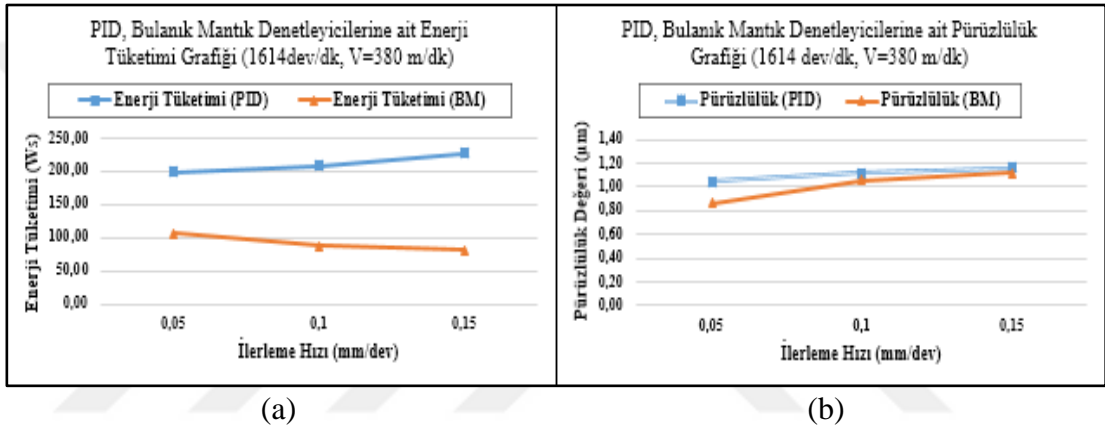
Şekil 5.38'de 1614 referans devir sayısı (dev/dk) için, uygulanan 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarına bağlı olarak gerçekleştirilen deneylerde, iş mili motorundan alınan akım ve güç değerleri karşılaştırılmaktadır.



Şekil 5.38. 1614 dev/dk devir sayısı referans değeri için, PID ve BM ile hız denetimi yöntemlerine ilişkin a)akım, b) güç değerleri

Şekil 5.38’de verilen grafikler incelendiğinde ilerleme hızının artışına bağlı olarak, alınan akım ve güç ortalama değerlerinde yükselme olduğu gözlenmektedir. Deney sonuçlarına göre; akım ve güç değerleri bakımından, BM hız denetimi yöntemi, PID yöntemine göre, uygulanan tüm ilerleme hızları için daha düşük sonuçlar vererek, daha iyi bir performans göstermektedir.

Şekil 5.39’da 1614 dev/dk devir sayısında, PID ve BM ile hız denetimi yöntemlerine ilişkin enerji tüketimi ve imalat işlemi sonrası malzeme üzerindeki yüzey pürüzlülük verileri grafiksel olarak karşılaştırmalı olarak verilmektedir.



Şekil 5.39. PID ve BM hız denetimi yöntemlerinin a) enerji tüketimi ve b) pürüzlülük sonuçlarının karşılaştırılması (1614 dev/dk).

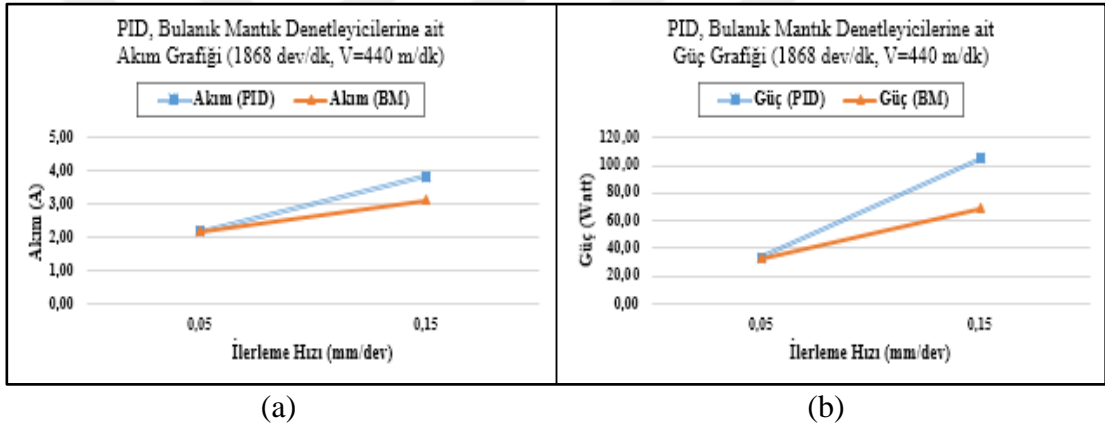
1614 (dev/dk) referans devir sayısında, farklı ilerleme hızlarına bağlı olarak gerçekleştirilen deneylerde, ilerleme hızının artışına bağlı olarak, enerji tüketimi değerlerinde yükselme gözlenmektedir.

Deney sonuçları enerji verimliliği yönünden incelendiğinde, BM ile hız denetimi yöntemi işleme anında, PID yöntemine göre daha az enerji harcayarak, enerji verimliliği açısından daha iyi bir performans göstermektedir. İşleme sonrası malzeme üzerindeki yüzey pürüzlülüğü incelendiğinde, 850, 1100, 1359 referans devir sayıları ile gerçekleştirilen deneylerden farklı olarak, devir sayısının yükselmesiyle BM hız denetleyicisinin, PID denetleyicisine göre tepki süresindeki üstünlüğü ile yüzey pürüzlülüğü açısından BM hız denetimi yöntemi, PID yöntemine göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmektedir.

5.4.5. Devir Sayısı 1868 dev/dk İçin Akım, Güç, Enerji Tüketimi Ve Pürüzlülük Karşılaştırılması

PID ve BM hız denetimi yöntemleriyle, 1868 (dev/dk) referans devir sayısı için, farklı ilerleme hızları uygulanarak gerçekleştirilen deneylere ilişkin, iş mili motorundan alınan akım, güç, enerji tüketimi ve pürüzlülük sonuçları Şekil 5.40 ve Şekil 5.41’de grafiksel olarak karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

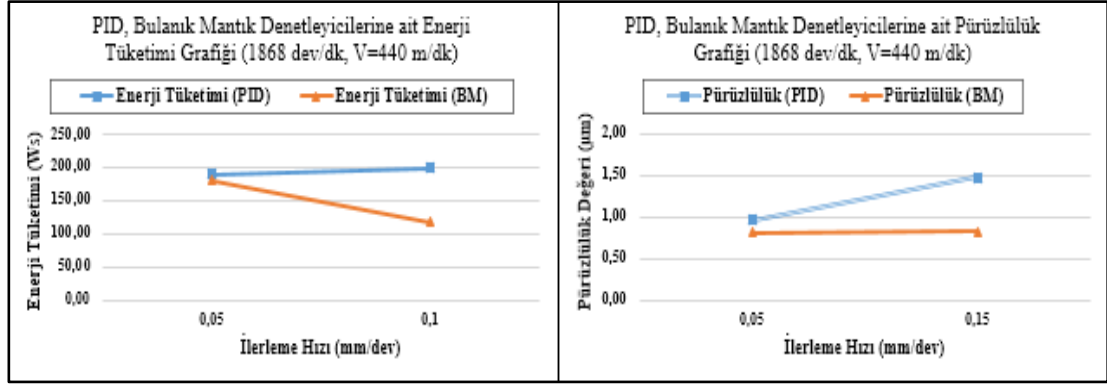
Şekil 5.40’da 1868 (dev/dk) referans devir sayısı için, uygulanan 0,05, 0,1 ve 0,15 mm/dev ilerleme hızlarına bağlı olarak gerçekleştirilen deneylerde, iş mili motorundan alınan akım ve güç değerleri karşılaştırılmaktadır.



Şekil 5.40. 1868 dev/dk devir sayısı referans değeri için, PID ve BM hız denetimi yöntemlerine ilişkin a) akım, b) güç değerleri.

Şekil 5.40’da verilen grafikler incelendiğinde ilerleme hızının artışına bağlı olarak, alınan akım ve güç ortalama değerlerinde yükselme olduğu gözlenmektedir. Deney sonuçlarına göre; akım ve güç değerleri bakımından, BM hız denetimi yöntemi, PID yöntemine göre, uygulanan tüm ilerleme hızları için daha düşük sonuçlar vererek, daha iyi bir performans göstermektedir.

Şekil 5.41’de 1868 (dev/dk) devir sayısında, PID ve BM ile hız denetimi yöntemlerine ilişkin enerji tüketimi ve imalat işlemi sonrası malzeme üzerindeki yüzey pürüzlülük verileri grafiksel olarak karşılaştırmalı olarak verilmektedir.



(a)

(b)

Şekil 5.41. PID ve BM hız denetimi yöntemlerinin a) enerji tüketimi ve b) pürüzlülük sonuçlarının karşılaştırılması (1868 dev/dk).

1868 referans devir sayısında (dev/dk), farklı ilerleme hızlarına bağlı olarak gerçekleştirilen deneylerde, ilerleme hızının artışına bağlı olarak, enerji tüketimi değerlerinde yükselme gözlenmektedir. Deney sonuçları enerji verimliliği yönünden incelendiğinde, BM ile hız denetimi yöntemi işleme anında, PID yöntemine göre daha az enerji harcayarak, enerji verimliliği açısından daha iyi bir performans göstermektedir. İşleme sonrası malzeme üzerindeki yüzey pürüzlülüğü incelendiğinde, 850, 1100, 1359 referans devir sayıları ile gerçekleştirilen deneylerden farklı olarak, devir sayısının yükselmesiyle BM hız denetleyicisinin, PID denetleyicisine göre tepki süresindeki üstünlüğü ile yüzey pürüzlülüğü açısından BM hız denetimi yöntemi, PID yöntemine göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmektedir.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu tez çalışmasında, geleneksel bir torna tezgahı, eksenlerine adım motorları monte edilerek, yazılım ve mikrodenetleyicilerle gerçek zamanlı denetlenebilen bilgisayar destekli tezgaha dönüştürülmüştür. Ayrıca tezgah iş mili motorundan alınan devir sayısı ve akım verilerinin izlenmesini ve tezgah operasyonlarının yönetilmesini sağlayan, bilgisayar tabanlı grafiksel ara yüze sahip bir yazılım da geliştirilmiştir. Bu yazılım ile eş zamanlı çalışabilen, mikrodenetleyici üzerinde, PID ve BM yöntemleri ile gömülü hız denetimi yazılımları da geliştirilmiştir. Bilgisayar, tezgah ve mikrodenetleyiciler arasında haberleşmenin, gerçek zamanlı seri iletişim yollarıyla sağlanmasıyla, sistem güvenilirliği ve performansı arttırılmıştır. Geliştirilen sistem ile operatöre devir sayısı ve akım verileri anlık olarak sunulmuş, tezgahın iş mili motorunun durumu izlenmiştir.

İmalat süresince algılayıcılardan alınan verilerin geliştirilen veri tabanına kaydedilmesiyle geçmişe yönelik deneysel çalışmaların analiz edilmesi sağlanmıştır. Geliştirilen uzman sistem malzeme veri tabanı yazılımı ile de operatöre işlenecek malzemeye özgün ilerleme ve devir bilgileri sunulmakta ve üretimin hız ve kalite açısından iyileştirilmesi sağlanmaktadır.

Geliştirilen tezgah sistemini test etmek için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu amaçla beş farklı kesme hızında (200, 260, 320, 380, 440 m/dk), üç farklı ilerleme değerinde (0,05, 0,1, 0,15 mm/dev) ve sabit kesme derinliğinde (0,5 mm) alüminyum alaşımı malzeme kullanarak deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneylerde, kesme hızına bağlı olarak, PID ve BM hız denetleyicilerinin talaş kaldırma anındaki enerji tüketimine ve işlenen malzemenin yüzey pürüzlülüğüne etkisi araştırılmıştır.

Deneysel çalışmalar sonucunda, tüm kesme hızları için PID ile hız denetimi yönteminin, BM ile hız denetimi yöntemine oranla daha fazla akım ortalamasına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu bağlamda işleme anında, enerji tüketimi yönünden deneysel çalışmalar incelendiğinde, çalışmaların tamamında (%100) BM ile hız denetimi yöntemi, PID ile hız denetimi yöntemine göre daha az güç harcayarak, enerji verimliliği açısından daha iyi bir performans göstermiştir.

Yüzey pürüzlülüğü açısından deneysel çalışmalar incelendiğinde, çalışmaların %60'ında, ilk üç kesme hızında (200, 260, 320 m/dk), PID hız denetleyicisi ile elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerinin, BM hız denetleyicisi ile elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerine göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Kesme hızının 380 m/dk ve 440 m/dk değerlerine yükselmesiyle, BM hız denetleyicisi ile gerçekleştirilen deneylerde alınan yüzey pürüzlülüğü sonuçlarının, PID hız denetleyicisi ile alınan sonuçlara göre daha iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Sonuç olarak geleneksel torna tezgahlarında operatör kaynaklı zaman, ölçü ve denetim hatalarını minimize etmek ve seri üretime olanak sağlamak amacıyla tezgahların bilgisayar destekli hale getirilmesinin imalat kalitesini ve performansını artırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Tezgahın zeki denetimli ve uzman sistem yazılımı ile denetlenmesinin, imalat işleminin performansına etkin bir katkı yaptığı belirlenmiştir.

Deneysel çalışmalardan elde edilen veriler neticesinde, enerji tüketimi ve yüzey pürüzlülüğü sonuçlarında görülen iyileştirmeler, PID ve BM hız denetim yöntemlerinin, yeni bir alan olan talaşlı imalat işlemlerinde kullanılan sistemlerde başarılı bir şekilde uygulanabilirliğini göstermiştir.

KAYNAKLAR

1. Ömürbek, N. ve Yılmaz, H., "İleri imalat teknolojileri kullanımını üzerine bir araştırma", *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 21: 375 (2009).
2. Okay, Ş., "İleri imalat teknolojileri kullanan KOBİ'lerin sorunlarına ilişkin bir alan araştırması: Denizli ili örneği", *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük (2009).
3. Xiao, W., Zheng, L., Huan, J., and Lei, P., "A complete CAD/CAM/CNC solution for STEP-compliant manufacturing", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 31: 1-10 (2015).
4. Özdemir, U. ve Erten, M., "Talaşlı imalat sırasında kesici takımında meydana gelen hasar mekanizmaları ve takım hasarını azaltma yöntemleri", *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 1: 37-50 (2003).
5. Yücel, F., "DSP tabanlı çevrimiçi Durum İzleme Sistemi", Yüksek Lisans Tezi, *SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 1-5 (2008).
6. Kusiak, A., Zhang, Z. and Verma, A., "Prediction, operations, and condition monitoring in wind energy", *Energy*, 60: 1-12 (2013).
7. Asada, T., Roberts, C. and Koseki, T., "An algorithm for improved performance of railway condition monitoring equipment: Alternating-current point machine case study", *Transportation Research Part C*, 30: 81-92 (2013).
8. Uysal, A. ve Bayir, R., "Real-time condition monitoring and fault diagnosis in switched reluctance motors with Kohonen neural network", *J Zhejiang Univ-SCI C (Comput & Electron)*, 12: 941-952 (2013).
9. Irfan, M., Saad, N., Ibrahim, R. and Asirvadam, V. J., "Development of an intelligent condition monitoring system for AC induction motors using PLC", *IEEE Business Engineering and Industrial Applications Colloquium (BEIAC)*, 1: 789-794 (2013).
10. Arpaia, P., Ernesto D M. and Inglese, V., "Software for measurement automation: A review of the state of the art.", *Measurement*, 66 : 10-25 (2015).
11. Kurada, S. and Bradley, C., "A review of machine vision sensors for tool condition monitoring", *Computers in Industry*, 34 (1): 55-72 (1997).

12. Han, Y. and Song, Y. H., "Condition monitoring techniques for electrical equipment-a literature survey", *Power Delivery IEEE Transactions*, 18 (1): 4-13 (2003).
13. De Silva, C W., "Vibration Monitoring, Testing, And Instrumentation", *CRC Press*, Canada, 7-15 (2007).
14. Abele, E., Altintas, Y. and Brecher, C., "Machine tool spindle units.", *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 59 (2): 781-802 (2010).
15. Sevilla-Camacho, P. Y., Herrera-Ruiz, G., Robles-Ocampo, J. B. and Jáuregui-Correa, J. C., "Tool breakage detection in CNC high-speed milling based in feed-motor current signals." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 53 (9-12): 1141-1148 (2011).
16. Wang, L., Orban, P., Cunningham, A. and Lang, S., "Remote real-time CNC machining for web-based manufacturing." *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 20 (6): 563-571 (2004).
17. Min-Chun, P., Po-Ching, L. and Yong-Ren C., "Remote online machine condition monitoring system", *Measurement*, 41 (8): 912-921 (2008).
18. De Jesús, R. T. R., Gilberto, H. R., Iván, T. V. and Carlos, J. C. J., "Driver current analysis for sensorless tool breakage monitoring of CNC milling machines.", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43 (15): 1529-1534 (2003).
19. Yahya, Işık. "Talaşlı imalatta on-line takım durumu izleme yöntemleri", *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 9 (1): 81-91 (2004)
20. Szecsi, T., "DC motor based cutting tool condition monitoring system", *Journal of Materials Processing Technology*, 92: 350-354 (1999).
21. Shi, D. and Nabil, G., "Development of an online machining process monitoring system: Application in hard turning", *Sensors and Actuators A: Physical*, 135 (2): 405-414 (2007).
22. Liang, M., Yeap, T., Hermansyah, A. and Rahmati, S., "Fuzzy control of spindle torque for industrial CNC machining.", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43 (14): 1497-1508 (2003).
23. Grigoriev, S N. and Georgi M M., "Research and development of a cross-platform CNC kernel for multi-axis machine tool.", *Procedia CIRP*, 14: 517-522 (2014).
24. Ertunç, H M. ve Sevim, İ., "Kesici Takımların Aşınmasını Gözleme Üzerine Yapılan Çalışmalar", *Pamukkale University Journal Of Engineering Sciences*, 7 (1): 55-62 (2011).

25. Mendi, F. ve Külekçi, M., "Geleneksel tezgahların PLC yardımıyla programlanabilir hale dönüştürülmesi", *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3 (1): 48-60 (1999).
26. Peközcan, A N., "Konvansiyonel bir torna tezgahının bilgisayar nümerik hale dönüştürülmesi ve dinamik duyarlılığının araştırılması", Doktora Tezi, *Osman Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir (1999).
27. Karaoğlan, K M. and Zeyveli, M., "Converting a universal machine to computer numerical controlled machine with microcontroller and concurrent control", *International Conference on Engineering and Natural Science*, Skopje, 528-532 (2015).
28. Zeyveli, M. and Karaoğlan, K.M., "Development sensor based system software for the control of motor and axis motion on the cnc turning machine", *International Conference on Engineering and Natural Science*, Skopje, 581-586 (2015).
29. Demir, M., Melih, K. ve Metin, E., "3 eksenli mini CNC freze tezgahı tasarımı ve imalatı", *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı TOK2013*, Malatya, 1231-1235 (2013).
30. Polat, H., "Klasik NC tezgahlarının CNC tezgahlarına dönüştürülmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (1998).
31. Pişkin, B., "Klasik bir torna tezgahının CNC'ye dönüşümü ve CNC torna için hassas kızak tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya (1996).
32. Uyanık, A S., Şimşek, İ., Aytan, İ N., Onat, M. ve Erdal, H., "3 eksenli yüzey işleme tezgahının bilgisayar ile kontrolü", *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük, 207-212 (2009).
33. Büyükaşahin, U., "3 eksenli CNC tezgah tasarımı ve uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2006).
34. Zeyveli, M. ve Gülesin, M., "Frezeleme işlemlerinde ekonomik işleme şartlarının optimizasyonu", *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7 (1- 2): 1-14 (2003).
35. Keleş, Ö., Usta, Y., Yeşilbağ, Y. Y. ve Ercan, Y., "Klasik bir torna tezgahı için bilgisayar kontrollü profil tornalama sistemi geliştirilmesi", *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21 (3): 533-565 (2006).
36. Can, A., "CNC programlama ve endüstriyel uygulamalar", Özçelik, Z., Neşeli, S., Altın, İ., *Selçuk Üniversitesi*, Konya, 1-8 (2011).
37. İnternet: Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, "Sayısal Denetimli (NC) ve Bilgisayarlı Sayısal Denetimli (CNC) Takım Tezgahları", <http://arsiv.mmo.org.tr/pdf/10947.pdf> (2015).

38. İnternet: İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, “Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları”, <http://akademi.itu.edu.tr/vuralmu> (2015).
39. İnternet: Mesleki Eğitimi Güçlendirme Projesi, “CNC Torna İşlemleri 1”, http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/makine_tek/moduller/cnc_torna_islemleri1.pdf (2015).
40. İnternet: Mesleki Eğitimi Güçlendirme Projesi, “Motorlar”, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Motorlar.pdf (2015).
41. İnternet: Mesleki Eğitimi Güçlendirme Projesi, “Motorlar”, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Motorlar.pdf (2015).
42. Türkeş, E. ve Orak, S., "Takım tezgahı tasarımında elektrik motoru seçimi", *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 17: 105-116 (2008).
43. İnternet: Mesleki Eğitimi Güçlendirme Projesi, “Step ve Servo Motorlar”, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Stepservo%20Motorlar.pdf (2015).
44. Rao, B K N., “Handbook of condition monitoring”, Davies. A., *Chapman & Hall*, London, 2-30 (1998).
45. Çalış, H., “Endüstriyel tesislerde kullanılan Durum İzleme metotlarının değerlendirilmesi”, *Elektrik- Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, Bursa, 160-164 (2000).
46. İnternet: Microsoft MSDN Kaynakları, “.NET Framework'e başlarken”, <https://msdn.microsoft.com/trtr/library/Hh425099%28v=VS.110%29.aspx> (2015).
47. Abiteboul, S., Hull, R. and Vianu, V., “Foundations of databases (Vol. 8)”, *Addison-Wesley*, California, 5-34 (1995).
48. Kuo, B C., “Otomatik kontrol sistemleri (dördüncü baskı)”, *Literatür Yayınevi*, İstanbul, 687-739 (2009).
49. Srinivas, P., Lakshmi, K V. and Kumar, V N., “A comparison of pid controller tuning methods for three tank level process”, *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 6810-6820 (2014).
50. Efe, M Ö., “Otomatik kontrol sistemleri”, *Seçkin Yayıncılık A.Ş.*, Ankara, 18-35 (2012).
51. Ç. Elmas, Bulanık Mantık Denetleyiciler, *Seçkin Yayıncılık A.Ş.*, Ankara, 12-38 (2003).

52. Soy, H., Yilmaz, E., and Allahverdi, N., "Design of an embedded fuzzy PD controller for thermal comfort applications.", *International Journal of Reasoning-based Intelligent Systems*, 2 (3-4): 293-299 (2010)
53. Hariharan, V., "Fuzzy control implementation of a home automation system", Master's Thesis, *Windsor University*, Canada, 14-38 (2002).



ÖZGEÇMİŞ

Kürşat Mustafa KARAOĞLAN 1985 yılında Gaziantep’te doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Gaziantep Merkez Anadolu Lisesi’nden mezun oldu. Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü’nden 2008 yılında mezun oldu. 2008-2012 yılları arasında özel sektörde yazılım uzmanı olarak çalıştı. Çeşitli kurumsal yazılım projelerinde görev aldı. 2012 yılında Karabük Üniversitesi Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Bilgisayar Teknolojileri Bölümü’nde öğretim görevlisi olarak göreve başladı ve halen devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Karabük Üniversitesi
TOBB Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu
Demir Çelik Kampüsü.
78050 KARABÜK

E-posta : kursatkaraoglan@gmail.com