

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MERMER MAKİNELERİNDE İLERİ SEVİYE
KONTROL UYGULAMALARI**

DOKTORA TEZİ

Elk. Müh. Said Mahmut ÇINAR

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRONİK ve BİLGİSAYAR EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ahmet ZENGİN

Nisan 2011

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ


**MERMER MAKİNELERİNDE İLERİ SEVİYE
KONTROL UYGULAMALARI**

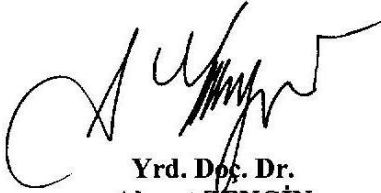
DOKTORA TEZİ


Elk. Müh. Said Mahmut ÇINAR

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRONİK ve BİLGİSAYAR EĞİTİMİ

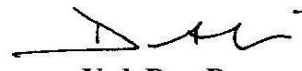
Bu tez 08/04/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr.
Hasan ÇİMEN
Jüri Başkanı


Yrd. Doç. Dr.
Ahmet ZENGİN
Üye


Yrd. Doç. Dr.
H. İbrahim ESKİKURT
Üye


Yrd. Doç. Dr.
Yılmaz UYAROĞLU
Üye


Yrd. Doç. Dr.
Devrim AKGÜN
Üye

ÖNSÖZ

Tez çalışmalarımda; desteğini eksik etmeyen danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Ahmet ZENGİN'e, fikirlerinden ve yönlendirmelerinden akademik kariyerim boyunca istifade ettiğim değerli hocam Sayın Prof. Dr. Hasan ÇİMEN'e, deney düzeneğinin tasarımında ve takıldığım her konuda yardımlarını esirgemeyen kıymetli hocam Sayın Öğr. Grv. Mustafa NARTKAYA'ya şükranlarımı sunarım.

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenen 106E164 numaralı proje kapsamında gerçekleştirilen bilgisayar tabanlı deney düzeneği ile gerçekleştirilmiştir. Desteğinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkürü bir borç biliriz.

Çalışmalarım sırasında beni desteklerinden mahrum bırakmayan aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
SUMMARY	xiv

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1. Giriş	1
1.2. Mermer Makinelerinde Kontrol Uygulamaları	1
1.3. Tezin Amacı	5
1.4. Tezin İçeriği	6

BÖLÜM 2.

MERMER KESME MAKİNELERİ	9
2.1. Giriş	9
2.2. Mermer Kesme Makineleri	9
2.2.1. Tel kesme makineleri	10
2.2.2. Lama testerele kesme makineleri	11
2.2.3. Dairesel testerele kesme makineleri	12
2.2.3.1. ST blok kesme makinesi	13
2.2.3.2. Yan kesme makinesi	15
2.2.3.3. Baş kesme makinesi	16
2.2.3.4. Yarma makineleri	16

BÖLÜM 3.

VERİ TOPLAMA SİSTEMLERİ	19
3.1. Giriş.....	19
3.2. Veri Toplama Sistemi Bileşenleri	20
3.2.1. Donanım bileşenleri	21
3.2.1.1. Mimari.....	22
3.2.1.2. Hız.....	22
3.2.1.3. Çözünürlük.....	25
3.2.1.4. Doğruluk	28
3.2.1.5. Giriş karakteristiği.....	29
3.2.1.6. Çıkış karakteristiği	31
3.2.1.7. Zamanlayıcı sayıcı bileşenleri.....	32
3.2.2. Yazılım bileşenleri	33
3.2.2.1. Sürücü yazılımı	33
3.2.2.2. Uygulama yazılımı.....	33
3.2.3. Aksesuarlar	34
3.2.3.1. Terminal panelleri	34
3.2.3.2. Kablolar ve yalıtım birimleri.....	34

BÖLÜM 4.

KONTROL SİSTEMLERİ ve KONTROLÖRLER.....	35
4.1. Giriş.....	35
4.2. Kontrol Sistemleri	35
4.2.1. Kontrol Sistemlerinin Türleri	36
4.2.2. Kontrol Sistemlerinin Tasarımı	38
4.3. Kontrolörler.....	39
4.3.1. PID kontrol yöntemi	40
4.3.1.1. Oransal etki	41
4.3.1.2. Toplamsal etki.....	42
4.3.1.3. Farksal etki.....	43
4.3.1.4. PID parametrelerinin ayarı.....	44
4.3.2. Bulanık mantık kontrolör	44
4.3.2.1. Klasik küme ve bulanık kümeler	45

4.3.2.2. Üyelik fonksiyonları	46
4.3.2.3. Bulanık kümeler üzerinde temel aritmetik işlemler	49
4.3.2.4. Bulanık mantık kontrolörün temel bileşenleri	54

BÖLÜM 5.

TASARLANAN DENEY DÜZENİĞİ	61
5.1. Giriş	61
5.2. Mekanik tasarım	61
5.3. Veri Toplama Sisteminin Tasarımı	63
5.3.1. Donanım ve yazılımının belirlenmesi	63
5.3.1.1. Seçilen donanımlar	63
5.3.1.2. Seçilen yazılım	66
5.3.2. Sistemin Kurulumu	69
5.3.2.1. Donanım altyapısı	69
5.3.2.2. Yazılım altyapısı	70
5.4. Kontrol Sisteminin Tasarımı	77
5.5. Kontrolörlerin Tasarımı	80
5.5.1. PID kontrolör	81
5.5.2. İki giriş bir çıkışlı bulanık mantık kontrolör	82
5.5.3. Üç giriş bir çıkışlı bulanık mantık kontrolör	87
5.5.4. Üç giriş iki çıkışlı bulanık mantık kontrolör	90

BÖLÜM 6.

DENEY SİSTEMATİĞİ	95
6.1. Giriş	95
6.2. Deneylede Kullanılan Mermer Numuneleri	95
6.3. Deneyle Parametrelerinin Belirlenmesi	96
6.4. Kontrolör Parametrelerinin Belirlenmesi	97
6.4.1. PID kontrolörün yapılandırılması	99
6.4.2. BM kontrolörlerin yapılandırılması	100
6.5. Test Deneyleleri	101

BÖLÜM 7.

DENEY SONUÇLARI	102
7.1. Giriş.....	102
7.2. Kontrol Yöntemleri İçin Elde Edilen Sonuçlar	102
7.2.1. PID kontrolör.....	103
7.2.2. 2G1Ç BM kontrolör	105
7.2.3. 3G1Ç BM kontrolör	107
7.2.4. 3G2Ç BM kontrolör	108
7.3. Özgül Enerji Analizi.....	110
7.4. Toplam Kesme Süresi Analizi.....	112
7.5. Toplam Mutlak Hata Analizi.....	114
7.6. Kontrol Yöntemlerinin Verimlilik Analizi.....	116

BÖLÜM 8.

TARTIŞMA ve ÖNERİLER.....	119
KAYNAKLAR	122
ÖZGEÇMİŞ	127

SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

G/Ç	: Giriş/Çıkış (<i>Input/Output I/O</i>)
ÇGTÇ	: Çoklu giriş tek çıkış (<i>Multi input single output MISO</i>)
ÇGÇÇ	: Çoklu giriş çoklu çıkış (<i>Multi input multi output MIMO</i>)
BM	: Bulanık mantık
PID	: Oransal-Toplamsal-Farksal (<i>Proportional-Integral-Derivative</i>)
TGTÇ	: Tek giriş tek çıkış (<i>Single input single output SISO</i>)
TGTÇ	: Tek giriş tek çıkış (<i>Single input single output SISO</i>)
a	: Testere kalınlığı
d	: Kesme derinliği
e	: Hata işareti
K	: Kontrolör kazancı
$\ddot{O}E$: Özgül enerji
P	: Testere motoru gücü
P_b	: Oran aralığı
T_d	: Fark zamanı
T_i	: Toplam zamanı
u	: Kontrol işareti
u_b	: Ön gerilim (sıfırlama) işareti
$u_{max}-u_{min}$: Kontrol işaretinin sınır değerleri
V_i	: İlerleme hızı
V_t	: Testere dönüş hızı
V_s	: Su akış hızı
y	: Kontrol edilen işaret
y_{sp}	: Kontrol edilen işaretin hedef değeri (<i>Set point</i>)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Tel kesme makinesi görünüşü [37].....	10
Şekil 2.2. Sayalama makinesi görünüşü	11
Şekil 2.3. Monolama makinesi görünüşü.....	11
Şekil 2.4. Katrak makinesi görünüşü [38]	12
Şekil 2.5. İki kolonlu ST blok kesme makinesi görünüşü [40].....	14
Şekil 2.6. Dört kolonlu ST blok kesme makinesi görünüşü [38].....	15
Şekil 2.7. Yan kesme makinesi görünüşü [41]	15
Şekil 2.8. Baş kesme makinesi görünüşü [41]	16
Şekil 2.9. Düşey yarma makinesi görünüşü [39]	17
Şekil 2.10. Yatay yarma makinesi görünüşü	18
Şekil 3.1. Örnekleme hızının etkisi.....	23
Şekil 3.2. Örtüşme etkisi	24
Şekil 3.3. Farklı çözünürlüklerde örneklenmiş işaretler	27
Şekil 3.4. (a) Tekli sonlu (b) Fark giriş bağlantı şekli.....	30
Şekil 4.1. Basit bir kontrol sistemi.....	36
Şekil 4.2. (a) Açık çevrim (b) Kapalı çevrim kontrol sistemleri.....	37
Şekil 4.3. Oransal kontrolör için hataya karşılık kontrol değişkeni karakteristiği... 41	41
Şekil 4.4. (a) Klasik (b) Bulanık kümeler	46
Şekil 4.5. Bulanık kümenin özellikleri	46
Şekil 4.6. (a) Normal bulanık (b) Normal olmayan bulanık küme	47
Şekil 4.7. Üçgen, yamuk, çan, sigma ve tekli üyelik fonksiyonları.....	47
Şekil 4.8. (a) Üçgen (b) Yamuk üyelik fonksiyonları.....	48

Şekil 4.9. X evrensel kümesinde tanımlı A ve B bulanık kümeleri.....	49
Şekil 4.10. Grafiksel olarak birleşme işlemi.....	49
Şekil 4.11. Grafiksel olarak kesişme işlemi.....	50
Şekil 4.12. Grafiksel olarak tümleyen işlemi.....	50
Şekil 4.13. (a) “Sıcak” (b) “Aşırı” sözel etiketleriyle tanımlanmış üyelik fonksiyonları.....	52
Şekil 4.14. (a) “Aşırı” (b) “Sıcak” üyelik fonksiyonları (c) $R = X \times Y$ bulanık bağıntısının üç boyutlu gösterimi.....	52
Şekil 4.15. Bulanık mantık kontrolörün genel yapısı	54
Şekil 4.16. Gerçek verinin bulanıklaştırılması.....	55
Şekil 4.17. (a) “Sıcaklık” (b) “Güç” değişkenleri için üyelik fonksiyonları.....	56
Şekil 4.18. (a) Mamdani max-min yöntemine göre 1. kural için (b) 2. kural için çıkarım işlemleri (c) İki kural sonucu elde edilen çıkarımların birleşimi.....	57
Şekil 4.19. (a) Mamdani max-prod yöntemine göre 1. kural için (b) 2. kural için çıkarım işlemleri (c) İki kural sonucu elde edilen çıkarımların birleşimi.....	58
Şekil 4.20. Ağırlık merkezi tip durulaştırma yöntemi	60
Şekil 5.1. Deney düzeneğinin üç boyutlu çizimi	62
Şekil 5.2. Çok fonksiyonlu veri toplama kartı	64
Şekil 5.3. (a) Analog G/Ç (b) Sayısal giriş (c) Sayısal çıkış genişleme kartları	65
Şekil 5.4. Analog çıkış yalıtım birimi	65
Şekil 5.5. Akım dönüştürücü	66
Şekil 5.6. Gerilim dönüştürücü	66
Şekil 5.7. Örnek bir VI ön paneli	68
Şekil 5.8. Örnek bir VI blok diyagramı	69
Şekil 5.9. (a) Veri toplama paneli görünümü (b) Kontrol paneli görünümü.....	70

Şekil 5.10. Deney düzeneği arayüzüne ait kontrol paneli.....	71
Şekil 5.11. Deney düzeneği arayüzüne ait blok diyagramından bir kesit.....	72
Şekil 5.12. Arayüz algoritmasına ilişkin akış şeması	73
Şekil 5.13. Arayüz blok diyagramının genel görünümü	73
Şekil 5.14. Program kodu başlangıç bloğu	74
Şekil 5.15. Arayüz blok diyagramında olay bloğunun görünümü	75
Şekil 5.16. (a) İlerleme hızı- özgül enerji	
(b) testere dönüş hızı-özgül enerji ilişkisi.....	78
Şekil 5.17. (a) 1G1Ç PID kontrolörlü	
(b) 2G1Ç BM kontrolörlü	
(c) 3G1Ç BM kontrolörlü	
(d) 3G2Ç BM kontrolörlü kontrol sistemleri.....	80
Şekil 5.18. PID kontrolörün yapılandırma ekranı	82
Şekil 5.19. 2G1Ç BM kontrolörün yapılandırma ekranı.....	83
Şekil 5.20. (a) Hata işareti	
(b) Hatanın türevi	
(c) İlerleme hızı üyelik fonksiyonları	84
Şekil 5.21. Mermer kesme sürecinde hata ve ilerleme hızı ilişkisi.....	85
Şekil 5.22. 2G1Ç BM kontrolör için kontrol yüzeyi	87
Şekil 5.23. 2G1Ç BM kontrolör için örnek bir deney sonucu	87
Şekil 5.24. Aktif güç değişkeni için üyelik fonksiyonları	88
Şekil 5.25. 3G1Ç BM kontrolörün kontrol yüzeyleri	90
Şekil 5.26. Testere dönüş hızı ile hata arasındaki ilişki.....	91
Şekil 5.27. 3G2Ç BM kontrolör blok şeması.....	91
Şekil 5.28. 3G2Ç BM kontrolörün yapılandırma ekranı.....	92
Şekil 5.29. (a) İlerleme hızı	
(b) İlerleme hızının türevi	
(c) Testere hızı üyelik fonksiyonları.....	93
Şekil 5.30. Testere hızı düzenleyici 2G1Ç BM kontrolörün kontrol yüzeyi	94
Şekil 6.1. Kesme mekanizması	97
Şekil 6.2. Burdur bej için sabit parametrelerle gerçekleştirilmiş deney sonuçları... 98	
Şekil 6.3. Uşak yeşil için sabit parametrelerle gerçekleştirilmiş deney sonuçları ... 98	

Şekil 6.4. Afyon traverteni için sabit parametrelerle gerçekleştirilmiş deney sonuçları	98
Şekil 7.1. Burdur bej mermeri için PID kontrolör deney sonucu	103
Şekil 7.2. Uşak yeşili mermeri için PID kontrolör deney sonucu.....	104
Şekil 7.3. Afyon traverteni için PID kontrolör deney sonucu.....	104
Şekil 7.4. Burdur bej mermeri için 2G1Ç BM deney sonucu	105
Şekil 7.5. Uşak yeşili mermeri için 2G1Ç BM deney sonucu	105
Şekil 7.6. Afyon traverteni için 2G1Ç BM deney sonucu	106
Şekil 7.7. Burdur beji mermeri için 3G1Ç BM deney sonucu.....	107
Şekil 7.8. Uşak yeşili mermeri için 3G1Ç BM deney sonucu	108
Şekil 7.9. Afyon traverteni için 3G1Ç BM deney sonucu	108
Şekil 7.10. Burdur bej mermeri için 3G2Ç BM deney sonucu	109
Şekil 7.11. Uşak yeşili mermeri için 3G2Ç BM deney sonucu	109
Şekil 7.12. Afyon traverteni için 3G2Ç BM deney sonucu	110
Şekil 7.13. Kontrol yöntemleri için elde edilen özgül enerji değerleri.....	112
Şekil 7.14. Kontrol yöntemleri için elde edilen toplam kesme süreleri.....	114
Şekil 7.15. Kontrol yöntemleri için toplam mutlak hata analiz sonuçları	116
Şekil 7.16. Kontrol yöntemleri için elde edilen tasarruf miktarları	118

TABLolar LİSTESİ

Tablo 4.1. X ve Y kümeleri için R bulanık bağıntısı	51
Tablo 4.2. Y ve Z kümeleri için S bulanık bağıntısı	53
Tablo 4.3. R ve S bulanık bağıntıları için T bileşke bulanık bağıntısı	53
Tablo 5.1. 2G1Ç BM kontrolör için kural tablosu	85
Tablo 5.2. 2G1Ç BM kontrolör için iyileştirilmiş kural tablosu.....	86
Tablo 5.3. 3G1Ç BM kontrolör için kural tablosu	89
Tablo 6.1. PID kontrolör için seçilen parametreler	100
Tablo 6.2. BM kontrolör için seçilen parametreler	100
Tablo 7.1. Toplam özgül enerji değerleri.....	111
Tablo 7.2. Toplam kesme süreleri.....	113
Tablo 7.3. Kontrol yöntemleri için TMH değerleri.....	114
Tablo 7.4. Kontrol yöntemleri için enerji tasarruf değerleri	117

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Kontrol yöntemleri, Bulanık denetleyiciler, Mermer kesme makineleri, LabVIEW, Enerji tasarrufu

Fosil enerji kaynaklarının hızla azalmasından dolayı enerji kaynaklarının verimli kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle işletme maliyetlerinin büyük çoğunluğunu elektrik enerjisi tüketiminin oluşturduğu mermer makinelerinde enerji verimliliğinin sağlanması oldukça önemli bir konudur.

Maden endüstrisinde mermer işlemede kullanılan çok çeşitli makineler bulunmakla birlikte dairesel testereli mermer makineleri özellikle bloklardan plaka üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Dairesel testereli kesme sürecine etki eden makineye, kesilen mermere ve kesici testereye ait pek çok parametre bulunmaktadır ve bu parametrelerden en etkili iki tanesi ilerleme hızı ve testere dönüş hızıdır. Bu parametrelerin doğru seçilmesi enerji verimliliğini artırmaktadır. Ancak mermer homojen bir malzeme olmayıp içerisinde farklı sertlikte bölgeler barındırdığından önceden seçilen ve kesme süreci boyunca sabit tutulan parametreler verimi azaltıcı etki oluşturabilmektedir. Kesme sürecinde parametreler mermerin kesilen bölgesine uygun biçimde kontrol edilirse kesme veriminin artacağı söylenebilir. İlerleme ve testere hızlarının kontrolü, geri beslemeli kontrol sistemine gömülü bir kontrolör kullanımıyla mümkün olabilir. Kontrolör, hedeflenen enerji tüketimi değerini yakalayabilmek için kesme parametrelerini sürekli değiştirecek ve kesme süreci boyunca mermerin içerisindeki farklı sertlikteki bölgeler en uygun parametrelerle kesilebilecektir.

Bu tez çalışmasında LabVIEW tabanlı bir veri toplama sistemine sahip laboratuvar ölçekli dairesel testereli mermer kesme makinesi geliştirilmiştir. Makinenin ilerleme ve testere dönüş hızlarını kontrol etmek amacıyla toplam dört adet PID ve BM kontrolörler tasarlanmıştır. Bunlardan üçünde sadece ilerleme hızı, sonuncu kontrolörde ise ilerleme hızının yanında testere dönüş hızı da kontrol edilmiştir. Daha sonra tüm kontrolörler LabVIEW ile hazırlanmış ayrı ayrı arayüzlere gömülmüştür. Gerçekleştirilen kontrolörlerin performansını incelemek için Burdur bej ve Uşak yeşil mermerleriyle Afyon traverteni üzerinde kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde elde edilen sonuçlar enerji tüketimi değerleri, kesme süreleri, toplam mutlak hata değerleri ve enerji verimliliği yönünden incelenmiştir. Sonuçlar üzerinde yapılan analizler BM kontrolörlerin PID kontrolöre göre daha başarılı olduğunu göstermiştir. Ayrıca ilerleme ve testere dönüş hızlarının birlikte kontrol edildiği iki çıkışlı BM kontrolörün tek çıkışlı BM kontrolöre göre daha iyi performans gösterdiği görülmüştür.

ADVANCED CONTROL APPLICATIONS IN MARBLE MACHINES

SUMMARY

Keywords: Control methods, Fuzzy controllers, Marble cutting machines, LabVIEW, Energy saving

Since fossil energy resources in the Earth are being consumed fast, energy resources are needed to be used efficiently. Therefore, to ensure energy efficiency is a vital issue for energy consumption which is the main cost item in marble cutting process.

Though, there are various machines for processing the marble in mine industry, circular sawblade machines are widely deployed for producing plaques from block marbles in particular. There exist many parameters related to machine, marble, and sawblade which are affecting productivity in the cutting process. In the cutting process, travelling and sawblade rotation speeds are the most important parameters. Choosing these parameters correctly improves energy efficiency. Since marble is a metamorphic rock, it is not a homogeneous material and its intensity may vary. So, selection of parameters prior to cutting process and remaining of them constant to the end of the process reduce energy efficiency of the marble cutting process. If parameters are controlled according to the parameters such as intensity of cut region and hardness of the material, it is clear that energy efficiency will improve. It is possible to control the travelling and the sawblade rotation speed with a controller embedded in a closed loop control system. The controller will continuously adjust cutting parameters to save energy by selecting the most appropriate parameters according to varying hardness marble regions.

In this thesis, a laboratory scaled cutting machine with circular sawblade which has LabVIEW based data acquisition system was designed. PID and FL controllers were designed for controlling the travel and sawblade rotation speeds in the machine. Totally four controllers (Three of them for controlling the travel speed and one for controlling the travel and sawblade rotation speeds simultaneously) were embedded in graphical user interface designed with LabVIEW. Burdur beige marble, Usak green marble and Afyon travertine were used to examine the performances of designed controllers for cutting experiments. Results obtained from cutting experiments were analyzed for specific cutting energy, cutting period, absolute total error and energy saving values. The results showed that FL controllers are more successful than PID controllers. In addition, it was seen that FL controller which has two control signals had better performance than FL controllers which have one control signal.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Giriş

Fosil enerji kaynakların hızla azaldığı ve sürdürülebilir alternatif enerji kaynaklarının sınırlı olduğu günümüzde enerji kaynaklarının verimli kullanımı oldukça önemli bir konudur. Bu nedenle aydınlatma lambalarından, beyaz eşyalara, ısıtma sistemlerinden, taşıtlarda kullanılan motorlara ve üretim tekniklerine kadar her alanda enerji verimliliği yüksek ürünler ve yöntemler tercih edilmektedir. Ayrıca enerji verimliliğini artırmak için önemli teşvikler bulunmaktadır. Bu bakımdan işletme maliyetinin büyük çoğunluğunu elektrik enerjisi tüketiminin oluşturduğu mermer kesme sürecinde enerji verimliliğinin sağlanması da oldukça önemli bir konudur.

1.2. Mermer Makinelerinde Kontrol Uygulamaları

Maden endüstrisinde mermer işlemede kullanılan çok çeşitli makineler bulunmakla birlikte bunlar; tel, lama ve dairesel testereli olmak üzere üç ana grup altında incelenebilir. Dairesel testereli mermer kesme makineleri özellikle bloklardan plaka elde edilmesi işleminde yaygın kullanım alanına sahiptir [1–2]. Blokları dilimleme işleminde endüstride ST olarak adlandırılan dairesel testereli mermer makineleri yaygın kullanım alanına sahiptir. Makinenin ST adı (*stripper*) ve (*trimmer*) kelimelerinin kısaltmasından türetilmiştir. ST makinesinin iki ve dört kolonlu olmak üzere iki tipi mevcuttur ve her iki makinede de düşey ve yatay pozisyonda çalışan iki testere bulunur. Düşey testere dilimleme ve yatay testere ayırma işlemlerini yerine getirir. Düşey testere çapları genellikle 1000–1600mm aralığında iken yatay testere çapları 400–450mm aralığındadır.

Dairesel testereli mermer kesme makinesinde kesme sürecine etki eden makineye, kesilen mermere ve kesici testereye ait pek çok parametre bulunmaktadır. Bu

parametreler testere dönüş hızı, ilerleme hızı ve yönü, kesme derinliği, soğutma suyunun akış hızı, mermerin fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri, testerenin malzeme ve mekanik özellikleri şeklinde sıralanabilmektedir [1, 3]. Söz konusu parametrelerin kesme sürecindeki etkilerini incelemek üzere çok sayıda çalışma yapılmıştır [4–16].

Dairesel testereli kesme sürecinde makineye ait parametrelerden ilerleme hızı ve testere dönüş hızı enerji tüketimi üzerinde en etkili iki parametredir. Bu iki parametrenin doğru seçilmesi ile kesme sürecinde verimlilik elde edilebilmektedir. Ancak mermer homojen bir malzeme olmayıp içerisinde farklı sertlikte bölgeler barındırdığından ve kesim öncesi seçilen ve kesim süreci boyunca sabit tutulan parametreler verimi azaltıcı etki oluşturabilmektedir. Kesme sürecinde parametreler mermerin kesilen bölgesine uygun biçimde kontrol edilirse kesme veriminin artırılacağı söylenebilir [17–18].

İlerleme ve testere hızlarının kontrolü, kesme sürecinde geri beslemeli otomatik kontrol sistemine gömülü bir kontrolör kullanımıyla mümkün olabilir. Kontrolör otomatik kontrol sisteminde hedeflenen enerji tüketimi değerini yakalayabilmek için kesme parametrelerini sürekli değiştirecektir. Böylece kesme süreci boyunca mermerin içerisindeki farklı sertlikteki bölgeler en uygun parametrelerle kesilebilecektir.

Kontrol sistemlerinde kullanılan kontrolörler en basit formda aç-kapa kontrolörden PID ve yapay zeka uygulaması olan bulanık mantık, yapay sinir ağları ve genetik algoritmalarla geliştirilmiş kontrolörlere kadar çok geniş bir yelpazede incelenebilir. Bir kontrol sisteminde kontrolörün süreci istenilen sınırlar içinde denetleyebilecek en basit formda gerçekleştirilmesi istenir. Ancak ne yazık ki kontrol edilen süreçler karmaşılaştıkça kontrolörlerin yapısı da ilave edilen yeni fonksiyonlarla karmaşık hale gelebilmektedir. Bu nedenle süreci kontrol edecek olan kontrolörün seçimi ve tasarımı oldukça önemli bir konudur.

PID kontrolör P, PD ve PI gibi çeşitli türevleriyle endüstride yaygın kullanım alanına sahip bir kontrolördür [19]. PID kontrolör hedef değer ile kontrol edilen değişken

arasındaki fark olan hatanın oranı, farkı ve toplamı üzerinden bir kontrol işareti üreten güçlü bir geri besleme algoritmasıdır. PID kontrolör özellikle basit süreçlerde ve performans gereksinmelerinin kritik olmadığı durumlar için elverişlidir. Ancak sürecin karmaşıklaştığı ve modellenemediği durumlarda PID kontrolörün kullanımı uygun olmayabilir ve bu süreçlerde kullanılan PID kontrolörün parametrelerini ayarlamak da oldukça zordur.

Dairesel testereli mermer kesme süreci, yukarıda verilen pek çok parametresi ve kesilen mermerden kaynaklanan belirsizlikleriyle tam olarak modellenemesi oldukça zordur. Matematiksel modellenemeyen süreçlerin kontrolünde yapay sinir ağları, bulanık mantık ve genetik algoritma gibi yapay zekâ uygulamalarının başarılı olduğu söylenebilir. Bulanık mantık (BM) kontrol yöntemi uzman görüşlerinin tasarıma doğrudan yansıtılabildiği kural tabanlı gelişmiş bir kontrol yöntemidir [20] [21–23]. BM ile gündelik hayatın belirsiz akışında gerçeğe daha yakın analizler yapılabilmekte ve bunun sonucunda daha doğru sonuçlar elde edilebilmektedir.

BM yöntemiyle oldukça basit ve hızlı bir biçimde kontrolör tasarlamak mümkündür. BM kontrolörün tasarımında en önemli aşama kural tabanının oluşturulmasıdır. Kurallar belirlenirken matematiksel modelden faydalanılabileceği gibi matematiksel modellenemeyen süreçler için sürecin davranışını sergileyen yeterli sayıdaki deney sonuçlarından faydalanılabilir.

Kontrolörün gerçekleştirileceği platform da oldukça önemlidir. Endüstriyel uygulamalar için kontrol sistemlerinin programlanır yapıların içine gömülmesi tercih edilen bir uygulama olmakla birlikte araştırma amaçlı laboratuvar çalışmalarında genellikle bilgisayar tabanlı kontrol sistemleri tercih edilmektedir [24–33]. Bilgisayar tabanlı yapılarda süreç bir veri toplama sistemiyle bilgisayardan izlenebilir ve kontrol edilebilir hale getirilmektedir. Böylece kontrolörler de bilgisayar ortamında gerçekleştirilebilmektedir.

Kontrolörün bilgisayar ortamında gerçekleştirilmesi tasarımcıya oldukça geniş imkanlar sunmaktadır. Tasarımcıya sunulan farklı programlama dillerini kullanabilme esnekliğinin yanında, tasarım sonrası değişiklik işlemlerini kolayca

yapma imkanı bulunmaktadır. Ayrıca programlanır yapılarda sıkça karşılaşılan (mikro denetleyiciler, sayısal işaret işleyiciler) hafıza kapasitesi sınırlamaları bilgisayar tabanlı sistemlerde neredeyse yoktur. Dolayısıyla daha karmaşık büyük kapasiteli kontrolörler tasarlamak mümkün olabilmektedir.

Karmaşık ve büyük kapasiteli kontrolörlere olan ihtiyaç günümüzde süreçlerin daha da karmaşık hale gelmesiyle artış göstermektedir [20]. Kontrol altındaki sürecin daha iyi denetimi çoklu giriş ve çıkış işaretli kontrolörle mümkün olabilir. Kontrolörlerin giriş ve çıkış işareti sayısının artması kontrolörün karmaşıklık seviyesini de artırmaktadır. Bu tarz çok giriş ve çıkışlı kontrolörlerin bilgisayar tabanlı sistemlerde tasarlanmasında büyük avantaj vardır.

Bu tez çalışması bilgisayar tabanlı bir veri toplama sistemine sahip gerçek bir mermer kesme makinesinde gerçekleştirilmiştir. Söz konusu mermer makinesinin veri toplama sisteminin tasarımı, TÜBİTAK tarafından desteklenen 106E164 numaralı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir [34]. Kurulan veri toplama sistemi sayesinde mermer kesme süreci bilgisayarla gözlenebilir ve kontrol edilebilir bir forma kavuşturulmuştur. Veri toplama sisteminin tasarımında NI firmasının “*LabVIEW*” grafiksel programlama platformu kullanılmıştır [35].

Tez kapsamında makinenin kesme parametrelerinden ilerleme ve testere dönüş hızlarının kontrolü hedeflenmiş ve dört farklı tipte kontrolör tasarlanmıştır. Parametrelerin kontrolü açısından kontrolörleri; sadece ilerleme hızının denetlendiği ve ilerleme hızıyla testere dönüş hızlarının birlikte denetlendiği kontrolörler olarak iki grupta incelemek mümkündür. Bir kontrol çıkışı olan ilk grupta PID, iki girişli (özellik enerji ve türevi) ve üç girişli (özellik enerji, türevi ve aktif güç) BM olmak üzere üç kontrolör tasarlanmıştır. İki kontrol çıkışlı ikinci grupta ise üç girişli (özellik enerji, türevi ve aktif güç) BM kontrolör tasarlanmıştır.

Tasarımı yapılan tüm kontrolörler “*LabVIEW*” grafik programlama dilinin bir eklentisi olan “*PID Control Toolset*” paket programı ile bilgisayar ortamında gerçekleştirilmiştir [36]. Kontrolörler, veri toplama sistemiyle süreçten alınan giriş

işaretlerini işleyip bir kontrol işareti üretmekte ve yine veri toplama sistemiyle bu kontrol işaretini sürece uygulamaktadır.

Tez kapsamında tasarımı gerçekleştirilen tüm kontrolörler Burdur bej mermeri, Uşak yeşil mermeri ve Afyon traverteni olmak üzere üç farklı doğal kayaç ile test deneylerine tabii tutulmuştur. Yapılan test deneylerinde toplanan veriler üzerinde özgül enerji, toplam kesim süresi, toplam mutlak hata ve verimlilik olmak dört farklı analiz uygulanmıştır. Bu analiz sonuçlarından, mermer kesme sürecinde ilerleme ve testere dönüş hızlarının birlikte düzenlendiği BM kontrolörün en iyi sonuçları verdiği görülmüştür. Ayrıca sadece ilerleme hızının kontrol edildiği kontrolörler içinde en iyi sonuç üç girişli BM kontrolörle elde edilmiştir.

1.3. Tezin Amacı

Mermerin ocaklardan çıkarılmasından ürün haline dönüştürülmesine kadar geçen süreçte çok çeşitli makineler kullanılmaktadır. Ocaklardan çıkarılan blokların dilimlenerek plakalara dönüştürülmesinde ise yaygın olarak dairesel testereli makineler tercih edilmektedir. Dairesel testereli mermer makinelerinin ve genel olarak tüm mermer işleme makinelerinin işletilmesinde en büyük maliyeti elektrik enerjisi oluşturmaktadır. Dairesel testereli mermer makinelerinde enerji tüketimini doğrudan etkileyen makine ve mermerle ilgili pek çok parametre bulunmaktadır. Makine parametrelerinden ilerleme ve testere dönüş hızları enerji tüketiminde önemli etkiye sahiptir. Bu parametrelerin doğru şekilde seçilmesiyle enerji tüketimi azaltılabilmektedir. Ancak mermer homojen bir malzeme olmadığından kesme işleminin çeşitli aşamalarında farklı sertlikte bölgeler kesilmekte, bu durum baştan sabit olarak ayarlanan ve kesme boyunca etki eden parametreler nedeniyle verimi azaltan bir etkiye neden olmaktadır.

Mermer kesme sürecinde parametreler bir kontrol döngüsünde kontrolör tarafından o an kesilen bölgenin özelliklerine göre düzenlenebilirse kesme verimi artırılabilir [3, 17, 18]. Dairesel testereli mermer kesme sürecinde makineye ait pek çok parametre bulunmakla birlikte enerji tüketimini etkileyen en önemli iki parametre mermerin ilerleme hızı ve testerenin dönüş hızıdır. Daha önce

gerçekleştirilen TÜBİTAK araştırma projesinde ilerleme ve testere dönüş hızları yüzer, PID ve BM kontrolörlerle düzenlenmiştir [34]. Bu tez çalışması da söz konusu araştırma projesinde hazırlanan altyapı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen doktora teziyle proje kapsamında yapılamayan gelişmiş kontrolör uygulamaları hayata geçirilmiştir. Tez çalışmalarında sadece ilerleme hızının ve ilerleme ile testere dönüş hızlarının birlikte düzenlendiği iki yöntem için dört farklı kontrolörler tasarlanmıştır. Böylece henüz ilerleme hızının bile elle kontrol edildiği mermer endüstrisindeki önemli bir açık kapatılabilmektedir.

1.4. Tezin İçeriği

Bu tez çalışması gerçek bir mermer kesme makinesinin laboratuvar ölçekli küçük bir modeli üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle tez, tasarlanan fiziki sistemler ve bu sistemlerin teorik altyapısının sunumu şeklinde iki ana kısımdan oluşmaktadır. Tezin son kısmında ise tasarlanan kontrol yöntemleriyle gerçekleştirilmiş kesme deney sonuçları sunulmaktadır. Tez toplam sekiz bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümünde konuya genel giriş yapılmış ardından tezin amacı verilmiştir. Giriş bölümünün devamındaki bölüm içerikleri aşağıda verilmektedir.

İkinci bölümde mermer işleme endüstrisinde kullanılan çeşitli makineler genel hatlarıyla verilmiştir. Bu bölümde verilen makineler mermer işleme endüstrisinde yaygın kullanım alanına sahiptir. Temel olarak tel, lama ve dairesel testereli olmak üzere üç ana kategoride makineler incelenmiştir. Tezin gerçekleştirildiği deney düzeneğinin de üyesi olduğu dairesel testereli kesme makineleri ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Bu kısımda dairesel testereli makinelerden ST blok, yan ve baş kesme makineleriyle yarma makinesi olmak üzere dört tip makine incelenmiştir.

Tezin üçüncü bölümünde bilgisayar tabanlı veri toplama sistemleri ayrıntılı olarak verilmektedir. Bu bölüm bir veri toplama sistemi tasarlanırken gerekli olabilecek temel bilgileri içermektedir. Bölümde, genel bir girişin ardından veri toplama sistemlerinin bileşenleri; donanım, yazılım ve aksesuar başlıkları altında ayrıntılı olarak incelenmektedir. Donanım başlığı altında veri toplama sistemi tasarlanırken seçilecek donanımın özelliklerinin nasıl belirlenmesi gerektiği yedi kıstas ile ayrıntılı

olarak sunulmaktadır. Yazılım başlığı altında bilgisayar tabanlı veri toplama sistemlerinin tasarımında kullanılan temel yazılımlar verilmektedir. Aksesuar başlığında ise donanım için gerekli olabilecek kablolar, terminal panelleri gibi aksesuarların seçiminde dikkat edilecek hususlar verilmektedir.

Dördüncü bölümde kontrol sistemleri ve kontrolörler konusu ele alınmıştır. Bölümde genel olarak kontrol sistemleri ve kontrolörler iki ayrı başlık altında sunulmaktadır. Kontrol sistemleri kısmında genel bir girişin ardından kontrol sistemlerinin türleri ve tasarım yöntemleri verilmektedir. Kontrolörler kısmından da genel bir girişin ardından tasarlanan PID ve BM kontrolörlerle ilgili temel bilgiler iki başlık altında sunulmuştur. PID kontrol başlığı altında kontrolör ana hatlarıyla verildikten sonra oransal, toplamsal ve farksal kontrol bileşenleri ayrı başlıklar altında verilmiştir. Ayrıca deney düzeneği için tasarlanan PID kontrolörün parametrelerini ayarlamakta kullanılan deneme yanılma yöntemi ayrıntıları da ayrı bir başlık altında verilmiştir. BM kontrol başlığı altında kontrolörün tarihçesinin özetlendiği sunumun ardından klasik ve bulanık kümeler, üyelik fonksiyonları, bulanık kümeler üzerinde temel aritmetik işlemler ve BM kontrolörün temel bileşenleri ayrı başlıklar altında ayrıntılarıyla sunulmuştur.

Çalışmanın beşinci bölümü kesme deneylerinde kullanılan ve kontrol yöntemlerinin uygulandığı deney düzeneğinin tasarım bilgilerini içermektedir. Bu bölüm genel girişi takip eden; mekanik tasarım, veri toplama sisteminin tasarımı, kontrol sisteminin tasarımı ve kontrolörlerin tasarımı olmak üzere dört ana kısımdan oluşmaktadır. Mekanik tasarım başlığı altında kullanılan deney düzeneğinin boyutları, doğrusal ve dairesel hareket eden parçaların hız değişim aralıkları gibi özellikler verilmektedir. Veri toplama sisteminin tasarımı başlığı altında donanım ve yazılımın seçimi ve sistemin kurulumu üzerinde durulmuştur. Seçilen her bir donanım ve yazılımın özellikleri ayrıntılı olarak verilmiştir. Ardından seçilen donanımlarla kurulan sistem ayrıntılarıyla birlikte sunulmuştur. Kontrol sistemlerinin tasarımı başlığı altında deney düzeneği için gerçekleştirilen dört tip kontrolör için tasarlanmış kontrol döngüleri verilmektedir. Kontrolörlerin tasarımı başlığı altında PID, 2G1Ç BM, 3G1Ç BM ve 3G2Ç BM kontrolörlerin tasarım bilgileri ayrıntılı olarak verilmektedir.

Tezin altıncı bölümünde kesme deneylerinin gerçekleştirilmesi aşamasında uygulanan sistematik yaklaşım sunulmaktadır. Bölümde genel girişi takiben kullanılan mermer numuneleri, deney parametrelerinin belirlenmesi, kontrolör parametrelerinin belirlenmesi ve test deneyleri olmak üzere dört başlık altında izlenen deney sistematığı sunulmaktadır. Deney numuneleri başlığı altında kesme deneylerinde kullanılan üç doğal kayacın özellikleri ve numune boyutları hakkında bilgilere yer verilmiştir. Devamında kesme deneylerinde sabit seçilen parametrelerinin belirlenen değerleri verilmiştir. Ardından PID ve BM kontrolör parametrelerinin belirlenme aşamaları verilmiştir. Son olarak ta her bir kontrolör için gerçekleştirilen test deneylerinin sayısı ve özellikleri hakkında bilgiler verilmiştir.

Çalışmanın yedinci bölümü kesme deneylerinden elde edilen sonuçları ve bunlar üzerinde gerçekleştirilen bir dizi analiz çıktılarının sunumunu kapsamaktadır. İlk olarak her bir kontrol yöntemi için elde edilen sonuçlar ayrı başlıklar altında üç kayaç numunesi için ayrı grafik pencerelerinde verilmiş ve bunlarla ilgili ayrıntılı yorumlar eklenmiştir. Ardından sonuçlar üzerinde gerçekleştirilen özgül enerji, toplam kesme süresi, toplam mutlak hata ve verimlilik analizlerinden elde edilen çıktılar ayrı başlıklar altında sunulmuştur. Özgül enerji analizinde her bir kesme deneyi için elde edilen değerler tabloya aktarılmış ve grafiklerle sonuçlar yorumlanmıştır. Benzer şekilde toplam kesme süresi, toplam mutlak hata ve verimlilik analizleri için de elde edilen sonuçlar tablolar şeklinde düzenlenmiş ve oluşturulan grafiklerle sonuçlar yorumlanmıştır.

Tezin sekizinci ve son bölümü elde edilen sonuçların tartışmasını ve geleceğe yönelik önerileri içermektedir.

BÖLÜM 2. MERMER KESME MAKİNELERİ

2.1. Giriş

Piyasada dekorasyon ve yapı malzemesi olarak çok çeşitli kayaçlar kullanılmakla birlikte farklı doğal renk ve desenlerine ilaveten kullanışlı ve sağlam olması yönüyle doğal taş kullanımının daha fazla olduğu söylenebilir. Mermerler ve travertenler doğal kayaçlar sınıfında yer almaktadır ve ocaklardan bloklar halinde çıkarılmasından kullanılabilir ürün haline dönüşmesine kadar geçen süreçte çok çeşitli makinelerle işlenmektedir. Maden endüstrisinde kayaçları işlemekte kullanılan farklı amaçlar için üretilmiş çok çeşitli makineler bulunmakla birlikte mermer işlemede kullanılan makineler farklılık göstermektedir. Bu bölümde mermer işlemede kullanılan makine çeşitleri tanıtılacaktır.

2.2. Mermer Kesme Makineleri

Mermer işleme endüstrisinde üç ana gruba ayrılacak çeşitli kesme makineleri kullanılmaktadır. Bunlar sırasıyla; tel kesme makineleri, lama ve dairesel testereli makineler olarak sıralanabilirler. Tel kesme makinelerinde çelik bir halat üzerine yerleştirilmiş elmas soketler içeren kesici tel bulunur. Tel kesmeler ocaklarda büyük bloklar halinde mermer üretmek ve büyük blokları taşınabilir küçük bloklara ayırmak amacıyla kullanılırlar. Lama testereli makinelerin bir veya birden fazla elmas soketli lama şeklinde testereleri bulunur. Dairesel testereli makinelerin de elmas soket içeren bir veya birden çok daire şeklinde testereleri bulunur. Lama ve dairesel testereli makineler blok veya plaka biçimli mermerleri dilimleme veya boyutlandırma işleminde kullanılırlar. Aşağıda söz konusu makineler üç ayrı başlık altında verilmektedir.

2.2.1. Tel kesme makineleri

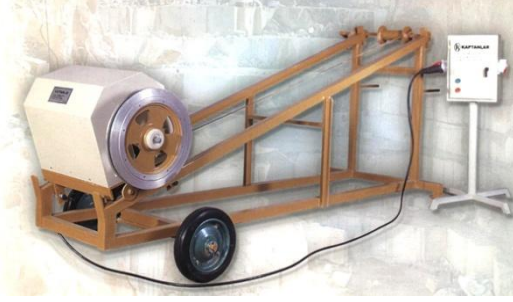
Tel kesme makineleri ocaklarda belirli büyüklükte blok çıkarmak için kullanılır. Ocaklarda, tel kesme ve sayalama (mini tel kesme) olmak üzere yaygın olarak kullanılan iki türü mevcuttur. Tel kesme büyük boyutta blokları çıkartmak için kullanılırken sayalama, tel kesmeyle çıkarılan büyük boyuttaki blokları taşınabilir küçük bloklara boyutlandırmada kullanılır. Tel kesme makinelerinde kesme işlemi üzerinde boncuk şeklinde elmas soketler bulunan çelik telin döndürülmesiyle gerçekleştirilir [1].

Tel kesme makineleri kayaç kütesine açılmış deliklerden geçirilmiş çelik teli volanıyla döndürür. Bu sırada makine, ilerleme düzeneğiyle kızak üzerinde geri hareket ederek çelik teli sürekli gerdirebilir. Bu gerdirme işlemi kızığın boyuyla sınırlı tutulur ve kızığın bitiminde tel kısaltılarak makine kızığın başına getirilip kesme işlemi yeniden başlatılır. Bu işlem blok tamamen kesilinceye kadar yapılır. Aşağıda bir tel kesme makinesinin görünümü verilmektedir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Tel kesme makinesi görünüşü [37]

Sayalama olarak bilinen mini tel kesme makineleri genellikle büyük blokları taşınabilir büyüklükte parçalara ayırmak için kullanılırlar. Büyük tel kesme makinelerinden farkı, kesici teli gerdirmek için ekstra bir ilerleme düzeneklerinin bulunmamasıdır. Kesici telin gerdirme işlemi genellikle makinenin rampa şeklindeki kızak düzeneği ile sağlanır. Aşağıda bir sayalama makinesinin görünümü verilmektedir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Sayalama makinesi görünüşü

2.2.2. Lama testerele kesme makineleri

Bu makinelerde kullanılan testerelelerin boyutları genellikle 200–300mm genişliğe, 3000–4000mm uzunluğa ve 3–5mm kalınlığa sahip çelik lamalardan üretilir. Testere makinedeki taşıyıcısı üzerinde yatay doğrultuda belirli bir aralıkta hareket eder. Lamalı kesme makinelerinde kesme işlemi lamalara yerleştirilmiş elmas soketlerle olabileceği gibi lama üzerine verilen suya ilave edilen aşındırıcı malzemeyle de olabilir. Lama testerele makineler kullanılan testere sayısına göre monolama (*mono blade gang saw*) ve ktrak (*multi blade gang saw*) olarak iki tipte üretilirler [1].



Şekil 2.3. Monolama makinesi görünüşü

Adından da anlaşılacağı üzere monolama makinesinin sadece bir tane lama testeresi vardır. Bu makineler şekli düzgün olmayan veya dilimleme makinelerine giremeyecek boyuttaki mermer bloklarını yeniden boyutlandırmak amacıyla kullanılır. Bu makineler iki kolon üzerine inşa edilirler. Testere yatay hareketini motor tarafından döndürülen bir volandan alır. Kesme işlemi yatay doğrultuda

hareket eden testerenin bir düzenekle aşağı yöne ilerletilmesiyle sağlanır. Yukarıda bir monolama makinesinin görüntüsü verilmektedir (Şekil 2.3).

Katraklar blok mermerden plaka üretmek için kullanılan kesme makineleridir. Katraklarda 15–120 arasında elmas soketli lama testere bulunur. Testere sayısı dilimlenecek bloğun büyüklüğüne ve dilim kalınlığına göre ayarlanabilir. Lama testereler bir motorla döndürülen 4–5m boyutunda bir volan ile yatay yönde hareket ettirilir. Monolama makinesinde olduğu gibi kesme işlemi yatay doğrultuda hareket eden testerelerin bir düzenekle aşağı yöne ilerletilmesiyle sağlanır. Katrakların birim zamandaki üretim değerleri yüksek olmasından dolayı verimleri yüksektir ancak büyük blokların kaldırılıp indirilmesinin zorluğu ve mekanik arıza yapma olasılıklarının yüksek oluşundan dolayı kullanım alanları sınırlıdır [1]. Aşağıda katrak makinesinin görünüşü verilmektedir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Katrak makinesi görünüşü [38]

2.2.3. Dairesel testereli kesme makineleri

Dairesel testereli mermer kesme makineleri endüstride çok yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Bu makinelerde kullanılan testerelerin çapı 200–3000mm ve kalınlığı 3–10mm arasında değişebilir. Testerenin dönme hareketi kasnak kayış sistemiyle bağlanmış bir elektrik motoruyla sağlanır. Dairesel testerenin etrafında belirli sayıda elmas soketler monte edilir. Dairesel testereli kesme makineleri blok şeklindeki mermerlerden plakalar elde etmek veya plakaları boyutlandırma amacıyla kullanılabilir.

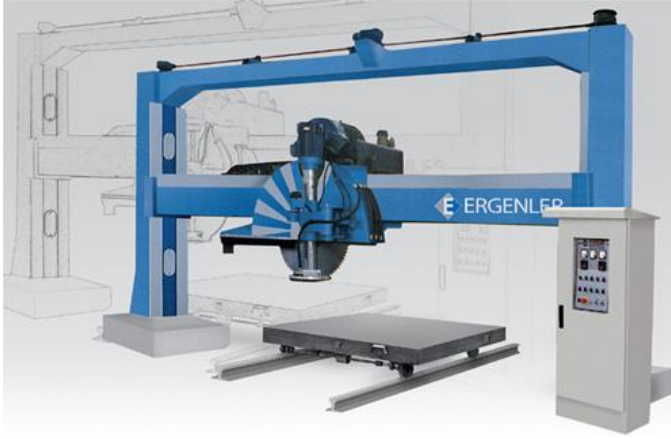
Dairesel testereli kesme makinelerinin farklı kullanım amacına göre üretilmiş, ST blok kesme, baş kesme, yan kesme, düşey ve yatay yarma makinesi gibi çeşitleri vardır. Burada isimleri verilen beş makine haricinde endüstride kullanılan farklı tipte makineler bulunabilir. Ancak burada amaç dairesel testereli kesme sürecini ana hatlarıyla ortaya koymak olduğundan bu kadarıyla yetinilmiştir.

Bahsi geçen dört tip dairesel testereli kesme makinesi aşağıda genel hatlarıyla sunulmaktadır. Ancak tez deneylerinin gerçekleştirildiği makine, ST blok kesme makinesinin küçük ölçekli bir modeli olduğundan ST blok kesme makinesinin yapısı ve özellikleri daha ayrıntılı verilecektir.

2.2.3.1. ST blok kesme makinesi

Makinenin ST adı (*stripper*) ve (*trimmer*) kelimelerinin kısaltmasından türetilmiştir. ST blok kesme makineleri endüstride bloklardan veya molozlardan (ocaklardan çıkarılan şekli bozuk kayaç kütlesi) plaka üretmekte kullanılır. Makine iki ve dört kolonlu olmak üzere iki tipte üretilmektedir. Her iki makinede de düşey ve yatay pozisyonda çalışan iki testere bulunur. Düşey testere dilimleme (*strip*), yatay testere ayırma (*trim*) işlemlerini yerine getirir. Düşey testere çapları genellikle 1000–1600mm aralığında iken yatay testere çapları 400–450mm aralığındadır. İki veya dört kolonlu ST blok kesme makineleri genellikle bir düşey testereyle işletilmesine rağmen bazı durumlarda düşey testere sayısı artırılabilir. Düşey testere sayısını artırmanın nedeni birim zamanda üretilen plaka miktarını artırarak makinenin verimini artırabilmektir [1, 39].

İki kolonlu ST makinelerinde testereleri taşıyan platform iki boyutta hareket edebilen bir köprü üzerinde bulunur. Platform köprü üzerinde 4–5m kurs boyunca ileri-geri hareket eder. Köprü ise iki kolon üzerinde yaklaşık 2–3m kurs boyunca yukarı-aşağı hareket eder. Bloğu taşıyan vagon kolonlar arasında testere düzlemine dikey yönde öne-arkaya hareket eder. Aşağıda iki kolonlu bir ST blok kesme makinesi görülmektedir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. İki kolonlu ST blok kesme makinesi görünüşü [40]

İki kolonlu ST blok kesme makinesinde testerenin ilerleme hızı platformun köprü üzerinde hidrolik veya dişli sistemiyle hareket ettirilmesi sonucu elde edilir. Kesme derinliği köprünün kolonlar üzerinde genellikle bir dişli sistemiyle hareket ettirilmesiyle sağlanır. Dilim kalınlıkları ise vagonun hidrolik veya dişli bir sistemle öne-arkaya hareketi ile ayarlanır. Ayrıca yatay testerenin açılıp kapanmasını sağlayan hidrolik bir sistem platform üzerine monte edilir.

Dört kolonlu ST makinelerini iki kolonlu makinelerden ayıran özellik dilim kalınlığı ayarının da platformu taşıyan köprüyle sağlanmasıdır. Dört kolonlu ST makinelerinde bloğu taşıyan vagon sabit durur. Vagon genellikle çok ağır blokları taşıdığından kesme sürecinde hareketli olması mekanik arıza olasılığını artırır. Bu nedenle dört kolonlu ST blok kesme makineleri iki kolonlulara göre daha fazla tercih edilir. Aşağıda dört kolonlu bir ST blok kesme makinesi görülmektedir (Şekil 2.5).

İki kolonlu makinede kullanılan köprü düzeneği dört kolonlu makinenin karşılıklı iki kolonları üzerinde işleyen ikinci bir köprü üzerinde testere düzlemine düşey doğrultuda öne-arkaya hareket eder. Söz konusu ikinci köprü yukarı-aşağı hareket etmek suretiyle kesme derinliğini ayarlar. İlerleme hızı iki kolonlu ST blok kesme makinesinde olduğu gibi ayarlanır. Yatay testerenin açılıp kapanma mekanizması da iki kolonlu ST blok kesme makinesindeki mekanizmayla aynı özelliindedir.



Şekil 2.6. Dört kolonlu ST blok kesme makinesi görünüşü [38]

2.2.3.2. Yan kesme makinesi

Yan kesme makineleri genellikle plakaların boyuna kenarlarının düzeltilmesi veya yeniden boyutlandırılmasında kullanılır. Makinede 400–500mm çapında bir dairesel testere kullanılır. Testere yukarı-aşağı ve testere düzlemine düşey doğrultuda öne-arkaya-hareket edebilen bir platform üzerinde bulunur. Testerenin alt tarafında kızaklar üzerinde hareket edebilen plakaları taşımak üzere bir vagon bulunur. Vagon kızaklar üzerinde 2000–4500mm kurs boyunca ileri-geri hareket edebilir. Bu hareket bir çevirme koluyla elle (*manual*) yapılabileceği gibi hidrolik veya dişli sistemleriyle de yapılabilir. Makinede kesme işlemi öncesinde ilk olarak boyutlandırılacak plakaya göre testere uygun pozisyona konumlandırılır. Ardından plaka tabla üzerine yerleştirilerek testereye doğru hareket ettirilir. Aşağıda yan kesme makinesinin görülmektedir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Yan kesme makinesi görünüşü [41]

2.2.3.3. Baş kesme makinesi

Baş kesme makineleri plakaların enine kenarlarını düzetmek veya boyutlandırmak için kullanılır. Makinede 300–600mm çapında bir dairesel testere kullanılır. Bu makinelerde genellikle kenarı düzeltilecek veya boyutlandırılacak plaka tablaya yerleştirilir ve testerenin plakaya doğru hareketiyle kesme işlemi gerçekleştirilir. Dolayısıyla makinede testerenin dairesel hareketi ve testereyi taşıyan platformun 800–1000mm kurs boyunca öne-arkaya doğrusal hareketi söz konusudur. Baş kesme makineleri genellikle tek testereli üretilmekle birlikte birden fazla boyutlandırma yapabilmek amacıyla çok testereli de üretilirler ve bu makinelere çoklu boyutlama makineleri denir. Aşağıda tek testereli bir baş kesme makinesi görülmektedir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Baş kesme makinesi görünüşü [41]

2.2.3.4. Yarma makineleri

Yarma dilimleme işleminde kullanılan birden çok dairesel testeresi bulunan kesme makinelerdir. ST gibi makinelerde kalınlığı 1cm olan plakalar üretmek verimsiz olduğundan bu makinelerde üretilen 3–20cm kalınlığındaki plakalar veya kütükler yarma makinelerinde dilimlenerek 1cm kalınlıkta plakalar elde edilir. Yarma makinelerinin düşey ve yatay olmak üzere iki tipi vardır. Yatay ve düşey yarma makineleri kademeli olarak kesme işlemi yaparlar.

DüŖey yarma makineleri ST gibi dairesel testerele makinelerde üretilen kütük adı da verilen 15–20cm kalınlığındaki parçaların 1–2cm kalınlıkta plakalara dönüŖtürülmesinde kullanılır. Makinede düŖey doğrultuda iki veya üç testere grubu bulunur. Testere grupları kesme yönünde küçük çaplı testereden büyük çaplıya doğru sıralanır. İlk olarak kesme yönüne göre küçük çaplı testere grubu belirli derinlikte kesme işlemini yapar, ardından daha büyük çaplı testere grubu kalan kısımdan belirli bir derinlikte kesme işlemini yapar. Böylece kademeli olarak kütükler kalınlıkları 1cm olan plakalara ayrılmış olur. AŖağıda düŖey yarma makinesi görölmektedir.



Ŗekil 2.9. DüŖey yarma makinesi görünüŖü [39]

Yatay yarma makineleri ST makinelerinde üretilmiş plakaları ortadan ikiye ayırarak iki plaka elde etmekte kullanılır. Yatay yarma makinelerinde kesme yönüne göre ikisi önde diğer ikisi arkada olmak üzere 600mm çapında toplam dört testere bulunur. Öndeki iki testere plaka genişliğinin yarısını karşılıklı olarak keserler plakanın kalan kısmı farklı eksende yerleştirilmiş arkadaki iki testere ile kesilerek plaka kalınlığı ikiye ayrılmış olur. Yatay yarma makineleri kalınlığı 3cm olan plakalardan ikiye ayırarak 1cm'lik plaka üretmede kullanılır.



Şekil 2.10. Yatay yarma makinesi görünüşü

BÖLÜM 3. VERİ TOPLAMA SİSTEMLERİ

3.1. Giriş

Veri toplama (*Data Acquisition-DAQ*), en genel anlamda gerçek dünyada olan olaylardan üretilen bilgilerin toplanma sürecidir. Bu olaylar basınç, titreşim, ışık ve ses gibi sıralanabilse de unutulmamalıdır ki gerçek dünyadaki olaylar sınırsızdır. Veri toplama sistemleri pek çok endüstriyel alanda önemli rol oynar. Çoğu üretici ve laboratuvar çalışmalarında veri toplama sistemlerinin çeşitli formlarını kullanırlar. Veri toplama ve kontrol kavramı, endüstride ve laboratuvarlarda sıkça kullanılır ve “gerçek dünyadaki olayları analiz etmek ve gözlemek amacıyla sayısal veya analog bilgilerin toplanması, bu olayların kritik seviyelerinin belirlenmesi ve çıkış kontrol düzeneğinin uygun sayısal veya analog işaretlerle sürülmesi” şeklinde tanımlanabilir.

Veri toplama sistemleri mikro denetleyici, programlanabilir yapılar (DSP, FPGA) gibi gömülü (*embedded*) elektronik devrelerle yapılabilir de günümüzde veri toplama sistemi denilince ilk akla gelen bilgisayar tabanlı sistemlerdir. Bilgisayar tabanlı sistemler bilgisayarın içindeki (ISA, PCI) veya dışındaki (USB, RS232, LPT, Ethernet, PCMCIA) bir terminale takılan kartla gerçekleştirilir. Bilgisayar tabanlı veri toplama sistemlerinin donanım ve yazılım olmak üzere iki önemli ayağı bulunur. Genel olarak, donanım fiziki devre elemanlarını, yazılım ara yüzün tasarlanacağı programlama dilini kapsar. Donanım ve yazılımın seçimi oldukça önemli bir konudur ve bu aşamada oldukça titiz davranılmalıdır.

Veri toplama sistemi tasarımında, ihtiyaçların eksiksiz bir şekilde belirlenmesi ilk aşamayı oluşturur. Ardından yakın gelecekte yapılması muhtemel değişiklikler de göze alınarak gerekli donanım ve yazılım araçlarının seçimi yapılır. Bu iki aşama tasarımın kalitesini ve maliyetini belirler. Gereksiz yere fazladan seçilen her özellik maliyeti artırır. Ayrıca yetersiz seçilen bir özellik, sistemin yakın gelecekte tamamen

veya kısmen değiştirilmesini gerektireceğinden gene maliyeti artıracaktır. Bu bölümde veri toplama sistemlerinin bileşenleri ve özellikleri ayrıntılı olarak verilecektir.

3.2. Veri Toplama Sistemi Bileşenleri

Veri toplama sistemleri genellikle bilgisayar tabanlı olarak gerçekleştirilir. Bilgisayar çağından önce, veri toplama işlemlerinde grafik kaydedici olarak bilinen cihazlar kullanılırdı ve bunlar genellikle elle (*manual*) çalıştırılırdı. Bu yöntem oldukça zahmetliydi ve günümüz veri toplama sistemlerine göre hatalı sonuçlar vermekteydi. Ayrıca elde edilen verilerin başka analizler için kullanımı da oldukça zordu.

Bugün artık bilgisayarlarla hayatın her alanına karşılaşılmaktadır ve bir mikro-işlemci yeni nesil veri toplama sisteminin bütünü oluşturabilmektedir. Veri toplama sistemleri bilgisayarlar sayesinde, gerçek zamanlı grafik çizme, yüksek hızlı kayıt ve toplanan verilerin yeniden yürütme, geniş bir kapasite ile analiz etme ve hatta kritik sinyallere kendi başına yanıt verebilme işlemleri gerçekleştirilebilmektedir.

Bilgisayar tabanlı veri toplama süreci gerçek dünyadaki basınç, sıcaklık, akım, gerilim gibi olaylarla başlar. Basınç veya sıcaklık algılayıcı gibi bir dönüştürücü bilgiyi voltaja dönüştürür ve bu voltaj gözlenen olayla değişim gösterir. Değişen voltaj veri toplama donanımını besleyen analog elektrik işareti (*signal*) meydana getirir. Veri toplama donanımının kullanım amacı, analog elektrik işaretini bilgisayar tarafından işlenebilir bir forma dönüştürmektir.

Bilgisayarlar sayısal aygıtlar olduklarından bilgiye erişebilmek ve işleyebilmek için sayısal işaretlere ihtiyaç duyarlar. Bu yüzden veri toplama donanımının temel amacı analog bir işareti bilgisayarın anlayabileceği formda sayısal bir işarete çevirmektir. Bir sayısal işaret çok belirgin bir şekilde ayrı rakamlardan (1–0) oluşur. Bu birler ve sıfırlar küçük gruplar şeklinde düzenlenerek kelimeler (*words*) biçimlendirilebilir. Sayısal olarak toplanan bu bilgi aslında analog bir işareti temsil eden formdadır.

Analog terimi örneksel (*analogous*) sözcüğünden türetilmiştir ve tam olarak fiziksel bir olayla ilgili olan veriyi temsil eder.

Bilgisayar tabanlı veri toplamada son adım verinin nasıl sunulacağıdır ve bu genellikle kullanıcılar için oldukça önemlidir. Bilgisayara toplanan sayısal birler ve sıfırlar kullanıcı için hiçbir mana ifade etmemektedir. Bu aşamada veri toplama yazılımı kilit rolü oynar. Yazılım, donanımın girişlerini alır ve okunabilir bir forma dönüştürür. Uygun yazılımla dosya oluşturulabilir, toplanan veriler yeniden yürütebilir, çizelge oluşturabilir, grafik çizdirebilir ve çeşitli analizler yapılabilir.

Yukarıda da ifade edildiği gibi bilgisayar tabanlı veri toplama sistemlerinde birkaç anahtar bileşen vardır. Bilgisayardan başka veri toplama sistemini tamamlamak için veri toplama donanımı, yazılımı ve aksesuarları olmak üzere üç grupta toplanabilecek elemanlara ihtiyaç duyulur. Bu üç grup veri toplama elemanı aşağıda ayrı başlıklar altında incelenecektir.

3.2.1. Donanım bileşenleri

Veri toplama donanımı, bilgisayar ile gerçek dünya arasındaki bir arayüz (*interface*) olarak değerlendirilebilir. Bu donanımın öncelikli görevi, gerçek dünyadaki işaretleri bilgisayarın yorumlayabilmesi için sayısallaştırmaktır. Veri toplama donanımları; doğrudan bilgisayarın ana kartına takılan (*plug in*) veya bilgisayarın RS232, LPT, USB, PCMCIA, Ethernet ve Wireless ağ terminalleri gibi çevre birimlerinden biriyle haberleşen bir kutuda sunulan tarzda (*compact*) olmak üzere iki grupta incelenebilir. İkinci grupta yer alan veri toplama donanımları özellikle taşınabilir bilgisayarlarla kullanıma olanak verirler.

Veri toplama donanımı seçimi yapılırken dikkate alınması gereken çok önemli yedi kıstas bulunmaktadır. Bunlar sırasıyla; mimari, hız, çözünürlük, doğruluk, giriş karakteristiği, çıkış karakteristiği ve zamanlama bileşenleri olarak sıralanabilir. Aşağıda bu yedi kıstas sırasıyla ayrıntılı olarak verilmektedir.

3.2.1.1. Mimari

Veri toplama sisteminin ilk aşamalarından biri, ne tip bir bilgisayar kullanılacağına karar vermektir. Bilgisayarın tipi seçilecek olan veri toplama donanımını platform (PC veya Macintosh platformu) ve donanım tipi olmak üzere iki yolla etkiler. PC (*personal computer*) uyumlu sistemler bilgisayar tabanlı veri toplama sistemleri için oldukça popüler bir platformdur. Genellikle düşük maliyetli sistemlerdir ve geniş oranda uygun donanım ve yazılım bulmak mümkündür. Macintosh platformu veri toplama üreticileri tarafından uygulanabilir olsa da fazla popüler değildir.

Bugüne kadar bilgisayar tabanlı veri toplamada kart şeklindeki veri toplama donanımları egemendi. Bu kartlar bilgisayarın genişleme yuvasına takılırlar ve kartın bağlantı terminali bilgisayarın arka tarafından görülebilir bir soket üzerinden bir harici bağlantı terminaline bağlanırdı. Veri toplama donanımlarındaki son teknolojik gelişmeler harici kutu biçimindeki birimler üzerine odaklanmıştır. Harici kutular bilgisayarın, genelde LPT, USB, PCMCIA bağlantı noktaları üzerinden bağlanırlar. Harici bağlantı terminalleri kutu üzerinde bulunabilir veya ilave bir çevre birim ile gerçekleştirilir. Harici tip donanımların en büyük avantajı taşınabilir olmasıdır. Harici tip donanımlar kartların aksine dizüstü bilgisayarlarla kullanılabilirler. Bu özelliklerine ek olarak ister masaüstü isterse dizüstü bilgisayarlar olsun kurulumları oldukça basittir.

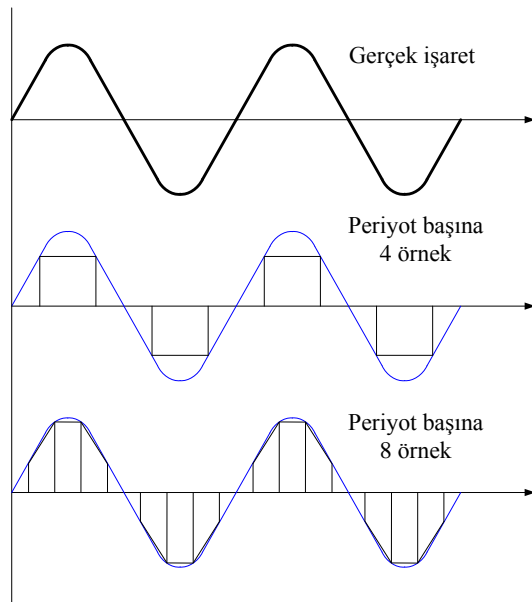
3.2.1.2. Hız

Veri toplama donanımı seçiminde diğer önemli bir kıstas da veri toplamanın hangi hızda yapılacağıdır. Hız örnekleme hızı (*sample rate*) olarak adlandırılır ve bir frekans değeri ile ifade edilir. Örneğin; 1000Hz örnekleme hızı saniyede 1.000 ölçüm yapılarak toplanmış veri anlamındadır. Benzer şekilde 20 kHz örnekleme hızı saniyede 20.000 ölçüm ve 1 MHz örnekleme hızı saniyede 1.000.000 ölçüm yapıldığı anlamına gelmektedir.

Örnekleme terimi analog-sayısal dönüştürme sürecinde bir dalga şeklinin seyreltilmiş anlık değerlerini gösterir (bu süreç istatistikteki büyük bir nüfusun belli sayıda

örnekle temsil edilmesi ile açıklanabilir). Analog işaretten belli bir zaman diliminde alınmış bu değerlerden dalga şekli yeniden oluşturulabilir. Dalganın örnekleme hızı orijinal dalga şeklini tam olarak göstermesi açısından önemli bir faktördür.

Aşağıda farklı hızlarda örnekleme yapılmış dalga şekilleri görülmektedir (Şekil 3.1). Orijinal dalganın frekansı 1Hz'dir. Burada farklı örnekleme hızlarındaki dalga şekillerinin doğruluklarına dikkat edilmelidir. 4 Hz örnekleme hızına sahip dalga şekli orijinal dalgayı oluşturamayacak derecede oldukça köşelidir. 8 Hz ile örneklenmiş dalga şekli orijinal dalga gibi gözükmeye başlamıştır. Örnekleme hızı artırıldıkça dalga şekli orijinal dalgaya yaklaşmaktadır.

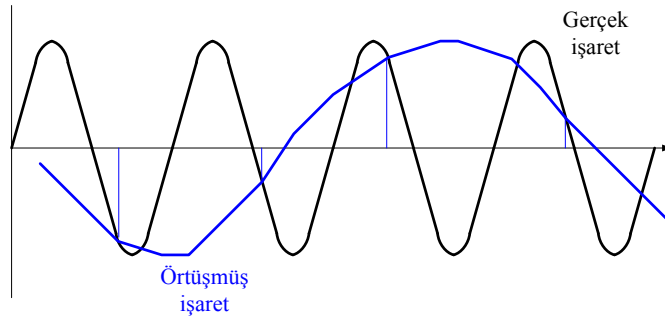


Şekil 3.1. Örnekleme hızının etkisi

Dalga şeklini yeniden oluşturmak yukarıda verilen örneklenmiş işarettaki noktaların birbirine bağlanması olarak söylenebilecek oldukça basit bir algoritma kullanılarak gerçekleştirilebilir (Şekil 3.1). Bu teknik normalde bilgisayar ekranlarında dalga şeklini oluşturmak için kullanılır. Bazı durumlarda, işaretin hızı donanımın yeterli örnekleri alamayacağı kadar hızlı olabilir ve dalga şekli tam doğru olarak gösterilemeyebilir.

Eğer sinyaldeki değişimler oldukça hızlı ise, aşağıdaki gibi örneklenmiş işaret sadece yanlış olarak görüntülenmekle kalmaz gerçek işarettten de tamamen farklı bir forma

sahip olur (Şekil 3.2). Bu durum örtüşme (*aliasing*) olarak adlandırılır ve gerçek dalga şeklinin tamamen yanlış olarak gösterimi ile sonuçlanır. Nyquist teoremi, bir işaretin yeniden oluşturulması amacıyla yeterli verinin elde edilebilmesi için örnekleme frekansının gerçek işaretin en yüksek frekansının iki katından daha yüksek olması gerektiğini söyler [42]. Bu nedenle işaretler genellikle en yüksek frekanslarının en azından 2,5 ila 3 katı frekansla örneklenirler.



Şekil 3.2. Örtüşme etkisi

Veri toplama donanımında örnekleme işlemini gerçekleştiren devre analog-sayısal dönüştürücüdür (*Analog to Digital Converter ADC*). Veri toplama donanımı üreten firmalar çok çeşitli analog-sayısal dönüştürücüler kullanır. Burada çok kullanılan üç tanesi kısaca anlatılmakla yetinilecektir.

Ardışık yaklaşırmalı dönüştürücüler (successive approximation converters): Ardışık yaklaşırmalı dönüştürücü çok kullanılan bir analog-sayısal dönüştürücüdür. Uygun maliyetleri ile pek çok uygulama için yeterli hızı sağlayabilirler. Bu dönüştürücüler analog girişi dahili bir değerle (bu değer %50 si ile) karşılaştırırlar. Eğer giriş bu dahili değerden büyükse, dönüştürücü başka bir dahili değerle (bu değer %75'i ile veya giriş sinyalinden %25 daha az) tekrar karşılaştırma yapar. Dönüştürücü sürekli olarak bu aralığı yarıya böler. Burada dönüştürücünün yaptığı bölme sayısı (veya yaklaşırma sayısı) onun çözünürlüğünü (bit sayısını) verir. Örneğin 12-bit çözünürlüklü dönüştürücü için 12 yaklaşırma işlemi gerçekleştirilir. Ardışık yaklaşırmalı dönüştürücülerin en önemli avantajı fiyatlarına göre hızlarının iyi olmasıdır. En önemli dezavantajı ise sinyalde var olan gürültüleri yok etmede oldukça zayıf kalmasıdır.

Toplamsal dönüştürücü (integrating converters): Toplamsal dönüştürücü bütün dönüştürme süresince örnekleme girişi ile ilgili gürültü problemini ortadan kaldırır. Toplamsal dönüştürücülerin eğim (*slope*) ve voltaj-frekans (*voltage-to-frequency*) olmak üzere iki ana tipi vardır. Eğim tip toplamsal dönüştürücüler, giriş işaretine bağlı bir kondansatörün ne kadar sürede dolduğu mantığına göre çalışır. Bu dolma zamanı bir değere dönüştürülür. Voltaj-frekans dönüştürücüler analog girişi sayısal bir frekansa dönüştürürler. Sonra bu işaretin frekansı bir değere dönüştürülür. Bu tip dönüştürücüler giriş işaretinde var olan gürültüleri azaltmada mükemmeldir.

Flaş Dönüştürücü (flash converters): Flaş dönüştürücüler çok yüksek hızlı tasarımlarda kullanılır. Bu tasarımda girişte pek çok karşılaştırıcı vardır. Bir karşılaştırıcı işaretin referans giriş değerinden yüksek ya da düşük olup olmadığını denetler. Flaş dönüştürücüde her bir bit için bir karşılaştırıcı vardır. Tüm karşılaştırıcıların çıkışları sayısal mantıkla kodlanmıştır. Bu tasarımda analogdan sayısala dönüşüm oldukça hızlıdır çünkü dönüşüm sadece karşılaştırıcıların giriş seviyesini algılaması için geçen süre kadar zaman alır. Dönüşüm 50ns'den daha az sürede kolaylıkla tamamlanır.

3.2.1.3. Çözünürlük

Bir önceki hız kıstası bölümünde de görüldüğü gibi analog işaretin sayısal işarete çevrilmesinde analog-sayısal dönüştürücüler birinci derecede rol oynarlar. Çözünürlük, analog-sayısal dönüştürücüler ayırt eden en önemli özelliklerden birisidir. Çözünürlük, giriş işaretindeki ölçülen en küçük değişimi belirler ve ölçülen girişin doğruluğunu belirleyen birkaç faktörden birisidir. Diğer faktörler doğruluk, kazanç hatası, ofset ve gürültüdür ve aşağıda doğruluk kıstası bölümünde ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

Aslında analog-sayısal dönüştürücü giriş işaretinin belirli bir andaki sayısal değerini tespit eder ve bunu bilgisayara aktarır. Bilgisayar, veri tabanı veya çizelge programı gibi diğer programların sayıları işlemesine benzer tarzda aktarılan bu sayıları işleyebilir. Genellikle çözünürlük seçilen analog-sayısal dönüştürücünün bit sayısının bir fonksiyonudur. Bu bitlerin sayısı analog-sayısal dönüştürücünün aynı anda ardi

ardına işleyebileceği birlerin ve sıfırların sayısıdır. Bir bit sayı sadece iki olası durumda, '1' veya '0' olarak kodlanabilir. Burada bir bit dönüştürücü sadece düşük (*low*) veya yüksek (*high*) iki durum ölçümünü denetleyebilir. İki bit sayı ile dört farklı olası durum kodlanabilir "00, 01, 10 veya 11". İlave edilen her bir bit olası durumların sayısını ikiye katlar. Buna göre 12-bit bir dönüştürücü 2^{12} veya 4.096 olası duruma sahiptir. 16-bit dönüştürücü ise 65.536 olası duruma sahiptir.

Çözünürlüğün yüzde olarak ifade edilmesi: Çözünürlük genellikle yüzde olarak belirtilir. Bu yüzde dönüştürücünün algılaması için giriş işaretinde meydana gelmesi gerekli olan değişimin ne kadar olacağını belirler ve denklem (3.1) ile hesaplanır.

$$R = \frac{1}{\text{Olası durum sayısı}} \cdot 100 \quad (3.1)$$

Örneğin 12 bitlik bir dönüştürücü için olası durumların sayısı 4.096 olduğuna göre yüzde çözünürlük;

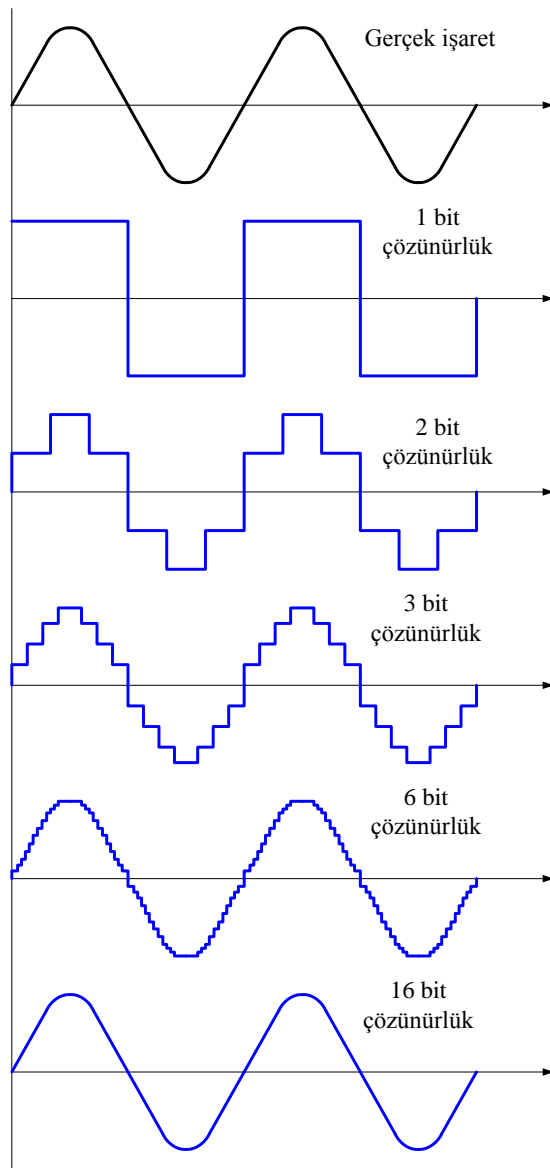
$$R = \frac{1}{4.096} \cdot 100 = \% 0,024$$

Burada dönüştürücü $1/4.096$ veya tam kadranın $\% 0.024$ 'ü kadar çözünürlüğe sahip demektir. Gerilim aralığı $0-256^{\circ}\text{C}$ 'yi temsil eden bir sıcaklık uygulamasında 12 bitlik bu dönüştürücü kullanılarak $256/4.096 = 0,062^{\circ}\text{C}$ 'lik bir kademe elde edilebilir. Aynı sıcaklık uygulamasında 16 bitlik bir dönüştürücü kullanılması durumunda ise $256/65.536 = 0,004^{\circ}\text{C}$ 'lik bir kademe elde edilebilir.

Kromatografi (bir bileşikteki bileşenlerin niceliklerini anlamak amacıyla uygulanan ayırıştırma süreci) uygulamalarında genellikle tam kadranın milyonda biri kadar oldukça küçük değişimlerin algılanması gereklidir. Bu gibi uygulamalarda yüksek çözünürlük önemli bir özelliktir.

Veri toplamada çözünürlük önemlidir çünkü elde edilen işaretler analogdur ve oldukça küçük artmalarla değişirler. Aşağıda orijinal analog işaret ve farklı

çözünürlüklerle örneklenmiş altı dalga şekli görülmektedir (Şekil 3.3). İlk dalga şekli orijinal analog işareti gösterirken diğerleri aynı dalga şeklinin sayısallaştırılmış halleridir. Bit sayısının ya da çözünürlüğün artması ile elde edilen dalga şeklinin orijinal analog işarete daha çok benzediğine dikkat etmek gerekir. 16 bitlik son örnekte verilen dalga şeklinde aslında görülmesi imkansız çok fazla adım vardır. Ancak bu sonuç insan gözüne orijinal işaretin neredeyse kopyası gibi görünür. Yine de orijinal işaret gibi görünen son örnekte sadece 65.536 olası değer vardır ve unutulmamalıdır ki orijinal işarete sonsuz sayıda değer vardır [43].



Şekil 3.3. Farklı çözünürlüklerde örneklenmiş işaretler

3.2.1.5. Doğruluk

Çözünürlük genelde veri toplama donanımlarının doğruluğunda sadece bir bileşendir. Diğer doğruluk etkenleri; kazanç hatası (*gain error*), sapma (*offset*), doğrusallık (*linearity*), sürüklenme (*drift*), gürültü (*noise*) ve ayarlamadır (*calibration*).

Kazanç hatası: Ölçülen değerde giriş işaretinden farklı değişimler görüldüğünde ortaya çıkan bir hatadır. Bu yarı iletken yaşlanması veya ortam sıcaklığında değişimlere sebep olabilir. %1'lik bir kazanç hatası her okumada %1'lik hataya sebep olur. Hata değeri genellikle her kademe için farklıdır ve geleneksel veri toplama donanımlarında kazanç ayar direnci ile sıfırlanabilir. Yeni nesil veri toplama donanımlarının neredeyse tamamında kazanç hatası yazılımsal olarak sıfırlanabilmektedir.

Sapma hatası: Sapma giriş seviyesinin sıfır olması durumunda okumada meydana gelen hatadır. Bu hata belirli bir kademde tüm giriş seviyeleri için aynıdır ve ayar direnci ya da yazılım ile düzeltilebilir.

Doğrusallık hatası: Farklı giriş seviyeleriyle kazanç hatası değiştiğinde meydana gelir. Giriş işaretindeki 0 dan 1 volta bir değişim ölçümde 2 den 3 volta değişen bir giriş işareti olarak farklı bir değişim gösterebilir. Bu doğrusallık hatası yüzündendir. Genelde doğrusallık hatası ayarlama ile ortadan kaldırılamaz.

Sürüklenme hatası: Kazanç, sapma ve doğrusallık hataları sıcaklığın birim değişimi olarak ve zaman aşımı ile değişir. Sürüklenme hatasını düzeltmek için birim yeniden ayar edilmelidir.

Gürültü hatası: Analog giriş okumalarında en büyük sorun gürültüdür. Gürültü bir okumadan diğer bir okumaya rastgele değişimler gösterir. Gürültü işaretleri flüoresan lambalar, motorlar, radyo istasyonları, güç kabloları ve bilgisayarlar gibi elektrik ve elektronik devrelerden kaynaklanır. Yüksek hızlı veri toplama devreleri daha büyük gürültü oluşturabilirler. Yüksek hızlı devrelerle, oldukça yavaş işaretlerin ölçümünde bile epeyce yüksek frekansta gürültü işaretleri oluşur. Veri toplama birimlerinde

gürültüyü yok edebilmek için gerilim-frekans tipi analog-sayısal dönüştürücüler kullanılabilir veya analog-sayısal dönüştürücü girişine bir filtre bağlanabilir. Bazı durumlarda mikro-işlemci ölçüm gürültülerini yok etmek için özel bir sayısal filtre algoritmasını yürütebilir ancak bu mikro işlemci için ekstra bir işlem yükü demektir. Çeşitli filtre tasarımları yeni nesil veri toplama donanımlarında yazılımsal olarak ayarlanabilmektedir.

Ayarlama hatası: İstisnasız bütün veri toplama donanımları olası en iyi doğruluğu sağlayabilmek amacıyla periyodik olarak ayarlamaya ihtiyaç duyarlar. Bunun sebebi elektronik bileşenlerin fiziksel özelliklerinde değişimlere yol açan çeşitli etkenlerdir (yaş, sıcaklık, vb.). Ayarlama işlemi geleneksel veri toplama donanımlarında elle yapılırsa da yeni nesil veri toplama donanımlarında bu işlem özel bir yazılımla otomatik olarak gerçekleştirilmektedir.

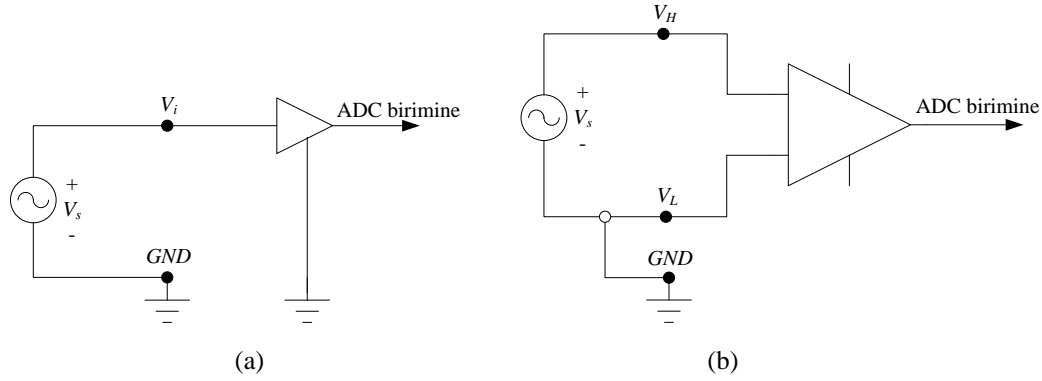
3.2.1.6. Giriş karakteristiği

Veri toplama donanımını belirlerken giriş karakteristikleriyle ilgili olarak dikkate alınması gerekli beş husus vardır. Bunlar; analog veya dijital işaretler, tekli-sonlu (*single-ended*) veya fark (*differential*) girişler, giriş kademeleri, ortak durum reddetme (*common mode rejection*) ve giriş koruması. Aşağıda bu beş husus ayrıntılarıyla verilmektedir.

Analog veya dijital işaretler: Analog girişler sıcaklık, basınç, kuvvet, gerilim, akım gibi büyüklükler olarak görülür. Sayısal girişler anahtar ve röle gibi düzeneklerden gelen işaretlerdir ve açık ya da kapalı sadece iki duruma sahiptirler. Veri toplama donanımı seçimi yapılırken ihtiyaç duyulan giriş tipi ve sayılarının çıkarılması gerekmektedir.

Tekli-sonlu veya fark girişleri: Giriş yapısının bu iki türü algılayıcı kablolarının bağlantı yöntemiyle alakalıdır. Fark girişler her işaret için iki kabloya sahipken, tekli-sonlu girişler bağlantı terminalini çevreleyen sadece bir kabloya sahiptir (Şekil 3.4). Tekli-sonlu girişlerle ilgili karşılaşılan ortak problem toprak döngüsü problemdir. Beklenmedik voltaj düşüşü nedeniyle toprak kablosundan bir akım akar. Fark

girişlerinin avantajı ortak toprak bağlantısının kullanılmamasıdır. Fark girişleri her bir kanal için pozitif ve negatif terminalleri ayrı kullanılır, böylelikle toprak döngüsü önlenmiş olur. Veri toplama donanımlarında genellikle analog girişler için tekli-sonlu ya da fark olarak kullanıcı tarafından düzenlenebilmektedir.



Şekil 3.4. (a) Tekli sonlu (b) Fark giriş bağlantı şekli

Ortak durum reddetme: Ortak durum işareti negatif ve pozitif girişlerin ikisinde de eşit olarak görünür. Bu gürültü tipi her iki kabloda eşit olarak görüldüğünden otomatik olarak birbirini yok eder. (Tekli-sonlu girişler bağımsız pozitif ve negatif girişlere sahip değildir ve bu yüzden ortak durum gürültüsü ortadan kaldırılamaz). Fark giriş pozitif ve negatif iki giriş arasındaki farkı ölçer. Negatif giriş toprağa bağlandığında fark giriş aynı tekli-sonlu giriş gibi olur. Fark girişin avantajı giriş kablolarının ikisinde meydana gelen eşit gürültü sinyallerinin birbirini yok etmesidir. Paralel kablolarda meydana gelen eşit gürültü sinyalleri birbirini yok eder çünkü farkları sıfırdır. Gürültü oluşumunu minimuma indirmek amacıyla koruyucu ekranlı (*shielded*) kablolar kullanılmalıdır. Cihazın toprak bağlantısı bilgisayar veri toplama sisteminin toprağından farklı bir potansiyelde olması durumunda oluşan toprak döngüsü de ortak durum gürültüsüne neden olabilir. Negatif girişin cihazın toprağına bağlanmasıyla voltaj farkı girişlerin ikisinde de görülür ve ortak durum sinyali ortaya çıkar.

Gerilim kademeleri: Basınç, sıcaklık ve kuvvet gibi algılayıcılar analog bir işaret üretirler. Bu işaret gerilim olabileceği gibi akım da olabilir. Dolayısıyla bazen akım bazen de gerilim ölçmeye ihtiyaç duyulabilir. Ölçülecek işaretlerin değişim aralıkları konusunda bir standart yoktur. Örneğin bazı işaretler 0-10V arası geniş bir aralıkta

değişirken, bazı işaretler 0-100mV arası oldukça küçük bir aralıkta değişim gösterebilirler. Bu nedenle ölçülen işaretin tam kadran kademesi ile eşleştirilmesi gerekir. Geleneksel veri toplama donanımlarında istenen kademe seçimi kart üzerine yerleştirilmiş anahtarlar (*dipswitch*) kullanılarak yapılırken, yeni nesil veri toplama donanımlarında bu işlem yazılımsal olarak gerçekleştirilmektedir. Kademe seçiminde hedef girişin değişim sınırlarını kapsayacak en küçük kademenin seçilmesi olmalıdır.

Bundan başka seçilen akım veya gerilim arasında, voltaj kademeleri tek polariteli veya iki polariteli olarak ayrılır. Tek polariteli kademe ölçülen işaretler '0'V ile '10'V gibi sadece pozitif veya sadece negatiftir. İki polariteli kademe ölçülen sinyaller '-10'V ile '+10V' gibi negatiften pozitive giden bir aralıktadır. Yeni nesil veri toplama donanımlarında polarite seçimi de yazılımsal olarak yapılabilmektedir. Yazılımdan kademe seçimi aynı zamanda otomatik kademelendirme özelliğini sağlar. Otomatik kademelendirme sinyal için en iyi kademeyi seçmeyi sağlayan bir özelliktir. Bu, çok geniş aralıklı; kromatografi ve ağırlık algılayıcı işaretleri (*load-cell signal*) gibi, işaretin alt seviyelerinde yüksek çözünürlüğe gereksinme duyulması durumları için oldukça önemlidir. Ayrıca bu özellik genliği bilinmeyen giriş işaretleri için oldukça yararlıdır.

Giriş koruması: Veri toplama donanımlarının bozulmasına sebep olan hataların başında girişlerin yüksek gerilim veya akımla zorlanması gelir. Donanım üreticisine göre değişmekle birlikte genellikle analog girişler 20 veya 30V'a tahammül edebilecek şekilde tasarlanırlar. Bu gerilim seviyesinin aşılması ani hasarla sonuçlanabilir. Çok hızlı giriş değişimlerini algılama yeteneği olan kartlarda sınırlama olmaksızın bu tip korumaları sağlamak neredeyse imkânsızdır. Bu gibi durumlarda yüksek gerilimler için yalıtım kartları kullanma yoluna gidilmedi [43].

3.2.1.7. Çıkış karakteristiği

Veri toplama donanımlarında bir diğer husus analog ve/veya sayısal işaret üretebilme yeteneğidir. Çıkışlar kontrol işareti üretmekte kullanılırlar. Sayısal çıkışlar röleleri anahtarlama için kullanılır, ısıtıcıyı açmak veya kapamak veya motoru başlatmak gibi. Bir analog çıkış neredeyse sürekli değişen akım veya gerilim üretir. Çünkü

bilgisayarlar sayısal işlem yaparlar ve ayırık adımlara veya çözünürlüğe sahip işaret üretebilirler.

Bir sayısal-analog dönüştürücü (*Digital-to-Analog Converter–DAC*) bilgisayarın dijital işaretini analog işarete dönüştürür. Bir analog çıkış farklı kademelerde akım veya gerilim üretebilir. Bazı analog çıkış sistemleri sadece gerilim üretebilir, bu nedenle eğer akım çıkışına ihtiyaç varsa donanım bilgileri dikkatle incelenmelidir.

3.2.1.8. Zamanlayıcı sayıcı bileşenleri

Bu kısımda veri toplama kartlarında bulunan sayıcılar, zamanlayıcılar, hız ayarı saatleri ve tetikleyiciler üzerinde durulacaktır.

Sayıcı ve zamanlayıcılar (*counter/timers*): Sayıcı ve zamanlayıcılar girişten gelen darbelerin sayılmasında, sürücü aygıtına darbe göndermede, zamanlama için çıkış frekansı üretiminde veya belirli tip vanaların kontrolünde ve diğer oransal olarak kontrol edilen aygıtlarda kullanılır. Donanımın bu özelliğe sahip olmasının en önemli avantajı yazılımla sürülen dijital çıkışlardan daha hızlı çalışma kapasitesine sahip olmasıdır. Bu özellik sayesinde veri toplama yazılımının yükü hafifletilerek diğer işlemler için serbest olması sağlanabilir.

Hız ayarı saatleri (*pacer clocks*): Hız ayarı saatleri veri toplamanın başlatılması ve bundan sonra hızının kontrolünde kullanılır. Bu saatler bilgisayarlarda çalışan saatlerle aynı şekilde çalışırlar. İdeal olan yapı donanıma gömülü saate sahip tasarımlardır. Donanıma gömülü saatin avantajı yazılımsal veya bilgisayar saatiyle oluşan kesmelerle karşılaşma olasılığının olmamasıdır.

Tetikleyiciler (*triggers*): Tetikleyiciler veri toplamanın başlatılmasında ve özellikle yüksek hızlı uygulamalarda kullanışlıdır. Bu giriş birimlerinde kullanıcı tarafından tanımlanan olay beklenir ardından veri toplama birimi veri toplamaya başlar. Arabellek kullanıldığında, kullanıcı sadece tetikleme noktasından sonraki (*post-trigger*) belirli sayıda değil aynı zamanda tetiklemeden önceki (*pre-trigger*) belirli sayıda veri örnekleme amacıyla tetikleme ayarlayabilir.

Bu özellik tetiklemeden önce sürekli veri okumayla ve arabellekte depolamayla yapılır. Eski veri sürekli olarak atılır ve sadece en son veri saklanır. Ön tetikleme işareti meydana geldiğinde, tetiklemeden önce veri zaten arabellektedir. Bu özellik bir olaydan hemen önce, hem olay sırasında hem de sonrasında ne meydana geldiğini görmenizi sağlar [43].

3.2.2. Yazılım bileşenleri

Uygun veri toplama sistemini gerçekleştirmek için iki ana yazılım gereklidir. Bunlardan ilki tercih edilen bir dilde programlama yazılımı, ikincisi ise donanım yapılandırma ve uygulama yazılımıdır.

3.2.2.1. Sürücü yazılımı

Sürücü yazılımı; uygulama yazılımı, işletim sistemi yazılımı ve veri toplama donanımı arasındaki haberleşme bağlantısını sağlar. Bir sürücüde üç temel özellik aranır. Birincisi, kullanmayı istediğiniz programlama dili veya uygulama yazılımı ile çalışıyor mu? İkincisi, eğer kendi programınızı yazacaksanız, sürücünün sağladığı komutlar istediğiniz fonksiyonları gerçekleştirmenize müsaade ediyor mu? Uygulama yazılımı programlamada karşılaşılabilecek zorlukları minimize edecek tarzda hazırlanmış mı? Sürücü yazılımları genellikle bu özelliklere cevap verecek biçimde tasarlanır. Ancak bir veri toplama donanımı seçilirken dikkat edilmesi gereken en önemli özelliklerden birisi sürücü yazılımıdır.

3.2.2.2. Uygulama yazılımı

Uygulama yazılımı, kullanıcı ile veri toplama sistemi arasında bağlantıyı sağlar. Bu yazılım sürücü yazılımından istenilen ölçümlerin ölçeklenmesi, görüntülenmesi, depolanması ve bu bilginin başka bir şekilde analiz edilmesi gibi işlemler için kullanılır.

Veri toplama yazılımı: Eğer bir programcıysanız ve bir yazılım yazmayı düşünüyorsanız, o zaman sürücü yazılımında açıklanan birinci özellik

gereksinmelerinizi karşılayacaktır. Diğer taraftan eğer bir programlama isteğiniz yoksa hem kullanımı kolay hem de yapılan işe uygun bir paket seçmelisiniz. Genellikle programlanabilir ve ayarlanabilir, simge tabanlı (*icon-based*) ve uygulama geliştirme () olmak üzere iki tip yazılım vardır.

Programlanabilir yazılım kullanıcı tarafından menüden seçilen veya yazılan komutlar yoluyla işletilir. Bu komutlar kullanılan, donanım kanalını, voltaj kademesini ve örnekleme hızının ne olduğu gibi bilgileri açıkça belirtir. Programlanabilir yazılıma bir alternatifte özellikle simge tabanlı bir program kullanımındır. Burada komutlar uygulamanızın gerçek dünya nesnelere temsil eden simgelerle değiştirilir. Bu tip programların öğrenilmesi kolaydır ve uygulamayı kullanıcı gözünde herhangi bir gayret sarf etmeksizin canlandırır ve oldukça esneklerdir.

3.2.3. Aksesuarlar

Uygun aksesuarların seçimi uygulamaya ve kullanılmaya karar verilen donanıma bağlıdır. Veri toplama donanımlarıyla kullanılan aksesuarlar; terminal panelleri, kablolar ve yalıtım birimleri şeklinde sıralanabilir.

3.2.3.1. Terminal panelleri

Bu paneller dönüştürücü veya algılayıcılardan gelen kabloların bağlandığı yerdir. Dönüştürücüler, algılayıcılar ve röleler tarafından üretilen elektrik işaretlerini taşıyan kabloların veri toplama donanımına bağlantısını sağlayan çeşitli terminalleri vardır. Terminal paneli seçilirken algılayıcı gibi birimlerin bağlantı terminal tipi dikkate alınmalıdır.

3.2.3.2. Kablolar ve yalıtım birimleri

Veri toplama donanımı ile bilgisayar arasındaki ya da veri toplama donanımını ile terminal paneli arasındaki bağlantıların yapılması için kullanılan özel üretilmiş kablolar bulunmaktadır. Veri toplama donanımını çalıştırabilmek için bu özel kabloların da seçimin yapılması gerekmektedir.

BÖLÜM 4. KONTROL SİSTEMLERİ ve KONTROLÖRLER

4.1. Giriş

Günümüzde kontrol sistemleri modern hayatın bir parçası haline gelmiştir. Kontrol sistemleri endüstriyel uygulamalarının yanında gündelik yaşamda karşılaşılan pek çok beyaz eşyada kullanılmaktadır. Kontrol sistemlerinde, kontrol altında tutulan değişkeni belirlenen hedef değere ulaştırma ve değişkeni bu değerde tutma görevini kontrolörler gerçekleştirir. Bir kontrolör verilen giriş işaretine karşılık önceden belirlenen fonksiyonuna göre çıkış işareti üretir.

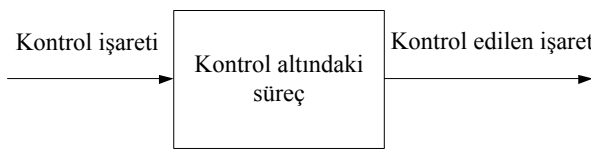
Bu bölümde kontrol sistemi kavramı ve kontrolörler üzerinde durulacaktır. İlk olarak kontrol sistemleri başlığı altında kontrol sistemlerinin çeşitleri ve tasarımı verilecek ardından kontrolörler başlığı altında kontrol yöntemlerinden PID ve BM ilgili temel bilgiler verilmektedir.

4.2. Kontrol Sistemleri

Son yıllarda kontrol sistemleri, insanlığın ve uygarlığın gelişiminde önemli rol oynayan bir bilim dalı haline gelmiştir. Endüstriyel uygulamalarda kontrol sistemleri, elektrik santrallerinde jeneratörün kararlılığının kontrolünden esnek üretim sistemlerinde ürün kalitesinin kontrolüne kadar çok geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Hatta bugün gündelik yaşamda kullandığımız çamaşır makinelerinden klimalara kadar pek çok cihazda da otomatik kontrol sistemleri kullanılmaktadır. Kontrol sistemleri elektrik ve makine mühendisliği uygulamalarının yanında başka bilim dallarını ilgilendiren toplumsal ve ekonomik olayların kontrolünde, canlıların davranışının incelenmesi, çevre sağlığının kontrolü gibi çok geniş bir spektrumda kullanılabilir [44].

4.2.1. Kontrol Sistemlerinin Türleri

Kontrol sistemi kavramı genellikle karmaşık bir konu olarak algılanmaktadır. Ancak gündelik yaşamımızda farkında olmadan pek çok kontrol eylemi yerine getiririz. Örneğin bir bardağı parmaklarımızla kavrayıp tutarken, kolumuz ve parmaklarımız beynin belirlediği koordinatlara uygun biçimde hareket eder. Kolun ve parmakların bu hareketi vücudumuzdaki algılayıcılardan (görme ve dokunma duyusu gibi) toplanan bilgiler sayesinde gerçekleşir.

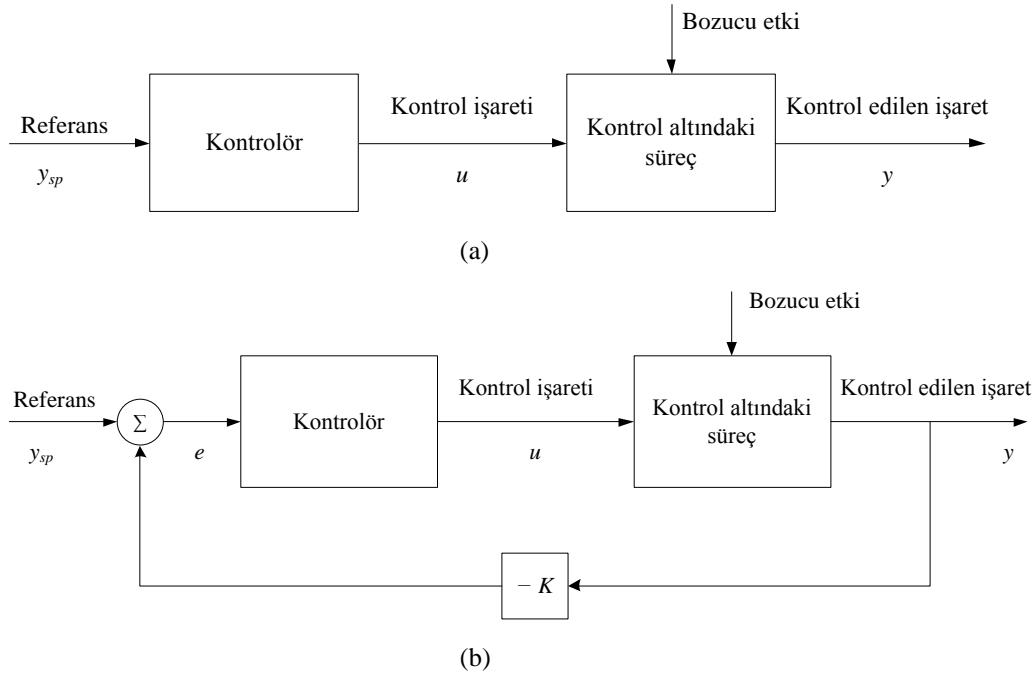


Şekil 4.1. Basit bir kontrol sistemi

En basit bir kontrol sisteminde kontrol altında bir süreç bulunur (Şekil 4.1). Kontrol altındaki süreç, girişine uygulanan kontrol işaretiyle denetlenir. Kontrol edilen işaret sürecin durumunu gözlemekte kullanılır ve kontrol sisteminde geri besleme işareti olarak kullanılabilir [45].

Çıkış veya kontrol edilen değişkenin denetimine göre kontrol sistemleri açık çevrim ve kapalı çevrim olmak üzere ikiye ayrılabilir. Açık çevrim kontrol sistemlerinde kontrol işareti (giriş), kontrol edilen değişkenden (çıkıştan) bağımsızdır (Şekil 4.2-a). Kapalı çevrim kontrol sistemlerinde ise kontrol işareti, kontrol edilen işaretle bir referans arasındaki farka bağımlıdır (Şekil 4.2-b). Kapalı çevrim sistemler geri beslemeli sistemler olarak da adlandırılır.

Görüldüğü gibi açık çevrim kontrol sisteminde kontrolör referans işarete göre bir kontrol işareti üretir ve bu sistemde girişle çıkış arasında bir bağlantı yoktur (Şekil 4.2-a). Açık çevrim kontrol sisteminin çıkışı girişinin bir fonksiyonu olmakla birlikte giriş çıkıştan bağımsızdır. Ancak geri beslemeli kontrol sisteminde çıkış referansla karşılaştırılarak hata işareti üretilir ve kontrolör hata işaretinin büyüklüğüne göre kontrol işareti üretir. Bir başka değişle üretilen kontrol işareti çıkışın durumuna göre şekillenir (Şekil 4.2-b).



Şekil 4.2. (a) Açık çevrim (b) Kapalı çevrim kontrol sistemleri

Geri beslemeli kontrol sistemlerinin pek çok türü vardır ve bunları çeşitli kıstaslara göre sınıflandırmak mümkündür. Kontrol sistemleri;

- Kullanılan elemanların yapı ve niteliğine göre; bilgisayarlı, elektromekanik, biyolojik, ısı, sıvı ve hava basınçlı kontrol sistemleri
 - Yaptığı işe göre; konum, hız, gerilim, akım ve frekans kontrol sistemleri
 - Kontrol sisteminde kullanılan eleman parametrelerinin zamana göre değişmesine göre; zamanla değişen veya zamanla değişmeyen parametrelili kontrol sistemleri
 - Kontrol sisteminin parametreleri, sabit olmayan bir fonksiyonla değişiyorsa doğrusal olmayan, sabit bir fonksiyonla değişiyorsa doğrusal kontrol sistemleri
 - Kullanılan işaretlerin tipine göre sürekli ve ayrık zamanlı kontrol sistemleri
 - Kontrol sistemlerinde işaretler belirgin veya belirgin olmayan ise belirgin ve belirgin olmayan kontrol sistemleri
 - Kontrol sistemi parametrelerinin toplu veya dağıtılmış olmasına göre toplu parametrelili veya dağıtılmış parametrelili kontrol sistemleri
- şeklinde sınıflandırılabilir [46].

4.2.3. Kontrol Sistemlerinin Tasarımı

Bir kontrol sisteminin tasarımında hedef, süreci en iyi denetleyecek kontrol sistemin olabildiğince basit bir formda gerçekleştirilmesidir. Bunun için kontrol edilecek sürecin özelliklerinin iyi bilinmesi ve kontrol sınırlarının ortaya konulması gereklidir. Burada kontrol sınırlarından kasıt sürecin denetiminde olmazsa olmaz şartlardır.

Örneğin bir enerji üretim sisteminde çıkış geriliminin belirli sınırlar içinde salınmasına müsaade edilir ve bu sınırların dışında enerji kalitesi bozulur. Dolayısıyla burada kontrol sistemi tasarlanırken gerilimin salınım aralığı dikkate alınmalı ve sistem ona göre şekillendirilmelidir. Ayrıca kontrol edilecek sürecin özelliklerinin önceden bilinmesi de kontrol sistemlerinin tasarımında oldukça önemlidir. Örneğin enerji üretim sisteminde, süreç çıkışında oluşan bir hatayı 100ms zaman diliminde düzeltecek bir kontrolör tasarlanmak istendiği bir senaryo düşünelim. Eğer kontrol edilecek süreç verilen bir kontrol işaretine 100ms'den daha uzun bir sürede cevap veriyorsa kontrolör tasarımında istenilen 100ms'lik hata düzeltme şartı hiçbir zaman gerçekleşmeyecektir. Dolayısıyla kontrol sistemlerinin tasarımında kontrol sınırlarının belirlenmesi işlemi, kontrol edilecek sürecin özelliklerine göre gerçekleştirilmesi gerekir.

Kontrol edilecek süreçler farklı şekillerde sınıflandırılabilirle birlikte en genel şekilde matematiksel modellenen ve modellenemeyen olarak ikiye ayrılabilir. Matematiksel modellenemeyen süreçler kara kutu olarak da adlandırılırlar. Matematiksel modellenen süreçler transfer fonksiyonlarıyla tanımlanırlar ve bir transfer fonksiyonu sürecin girişi ile çıkışı arasındaki ilişkiyi tanımlar. Giriş işareti $r(t)$ ve çıkış işareti $y(t)$ olan bir sürecin transfer fonksiyonu $h(t)$ (4.1) ifadesiyle verilir.

$$h(t) = \frac{y(t)}{r(t)} \quad (4.1)$$

Sürecin transfer fonksiyonu kontrol sisteminin matematiksel modelinin kurulmasında kullanılır. Kurulan matematiksel model yukarıda verilen geri beslemeli kontrol sistemlerinden; sürekli, süreksiz, zamanla değişen, zamanla değişmeyen, doğrusal, doğrusal olmayan, belirgin veya belirgin olmayan tipte olabilir. Model doğrusal ise sistemin analizi ve tasarımı, Laplace, Fourier veya z dönüşümleriyle kontrol sistemi sırasıyla (s) , (w) veya (z) domenine dönüştürülerek klasik kontrol teorisi yöntemlerinden köklerin yer eğrisi ve Bode diyagramları kullanılarak yapılabilir. Ayrıca kontrol sisteminin kararlılık analizi için Routh-Hurwitz ve Nyquist kriterleri kullanılabilir. Model doğrusal değilse tasarım ve analizde ya kontrol sistemi belirli çalışma noktaları etrafında doğrusallaştırılarak klasik kontrol teorisindeki yöntemler kullanılır ya da Liapunov kararlılık kriteri gibi özel yöntemler kullanılabilir [46].

Matematiksel modellenemeyen süreçler için tasarlanacak kontrol sistemlerinde model kurma imkanı sınırlıdır. Dolayısıyla bu tip kara kutu süreçlerin davranışı yeterli sayıda deneyle incelenmelidir [46]. Sürecin analiz edildiği bu deneylerde elde edilen sonuçlardan hareketle kontrol sisteminin tasarımı yapılabilir.

4.3. Kontrolörler

Bir kontrol sisteminde kontrolör, çıkış değişkenini belirlenen hedef değere belirli bir sürede ulaştırır ve bu hedef değerde yine belirli bir hata payıyla tutmayı sağlar. Burada kontrolörün denetleyebileceği çıkış değişkeni sayısı bir veya birden fazla olabilir. Kontrolörün hedef değeri yakalama süresi ve bu değerde tutabilme yeteneği kontrolörün kalitesini belirler. İdeal olan durum, kontrolöre giriş verildiği anda hedef değeri yakalaması ve hiç hata olmaksızın çıkışı hedef değerde tutmasıdır. Ancak gerçekte böyle bir durum neredeyse imkansızdır. Geliştirilen yeni kontrol yöntemlerinde amaç, hedef değeri yakalama zamanını olabildiğince azaltmak ve hedef değerden sapmaları en aza indirmektir.

Kontrolörler verilen giriş işaretinin durumuna göre önceden belirlenen fonksiyonlarına göre çıkış işareti üretir. Burada kontrolörün giriş işareti bir veya birden çok olabilir. Günümüzde kontrol sistemlerinin mikro işlemci veya bilgisayar tabanlı gerçekleştirilmesi kontrolörlerin çok girişli tasarlanabilmesine imkân

vermektedir [20]. Giriş sayısının artmasıyla kontrol altındaki süreci daha iyi tanımlayan kontrolör fonksiyonları gerçekleştirilebilmektedir.

4.3.1. PID kontrol yöntemi

PID (*Proportional-Integral-Derivative*) kontrolörün; geri besleme yapmak, toplamsal etkiyle kontrol edilen değişkenindeki kalıcı durum hatasını ortadan kaldırmak ve farksal etki sayesinde meydana gelecek hatayı önceden sezmek gibi çok önemli üç fonksiyonu vardır. PID kontrolör özellikle sistem dinamiğinin basit olduğu ve performans gereksinmelerinin kritik olmadığı kontrol problemlerinin çoğu için elverişlidir. PID kontrolörlerle çok farklı uygulamalarda neredeyse tüm endüstrilerde karşılaşmak mümkündür. PID kontrolörler, havalı sistemlerden mikroişlemciler kadar çok sayıda teknolojik gelişmelerle birlikte varlığını devam ettirmiştir. Mikroişlemciler PID kontrolörlerde olağanüstü bir etki yaratmıştır. Günümüzde pratik olarak üretilen tüm PID kontrolörler mikroişlemci tabanlıdır ve bu durum; otomatik ayarlama, kazanç programlama ve sürekli uyarılma gibi ekstra özellikler sağlar. Otomatik ayarlama; kontrolör parametrelerinin bir operatör veya harici bir işaret tarafından otomatik olarak ayarlanmasıdır. Uyarılma ise kontrolör parametrelerinin sürekli güncellenmesi işlemidir [19].

Yukarıdaki geri besleme sisteminde; kontrolör sistemi kontrol altındaki süreci denetleyen elemanı göstermektedir. (y) değişkeni süreç değişkeni olarak adlandırılır (Şekil 4.2-b). (y_{sp}) süreç değişkeninin hedeflenen değeri veya referans değeridir. (e) kontrol hatasıdır ve (y_{sp}) ile (y) arasındaki farka eşittir. (u) kontrol değişkeni veya ayarlanmış değişkendir. Süreç değişkeni (y) referans değerden (y_{sp}) küçük olduğunda kontrol değişkeni (u) arttırıldığından veya (y), (y_{sp})'den büyük olduğunda (u) azaltıldığından yukarıda verilen sistem negatif geri beslemeli olarak adlandırılır (Şekil 4.2-b). Negatif geri beslemeli sistemde sistem değişkeni ile kontrol değişkeni zıt yönde değişim göstermektedir.

PID kontrolör, P-oransal (*Proportional*), I-toplamsal (*Integral*) ve D-farksal (*Derivative*) kontrolör olmak üzere üç bileşenden oluşur. Çok farklı versiyonları olmakla birlikte en genel ifadesiyle PID algoritması (4.2) ifadesi ile tanımlanır [28].

Kontrol değişkeni hatanın oranı P, hata toplamının oranı I ve hata farkının oranı D terimlerinin toplamıdır. Burada kontrolör parametreleri, kontrolör kazancı (K), toplam zamanı (T_i) ve fark zamanıdır (T_d). Kontrolörün toplam zamanı (T_i) sıfırlama zamanı (*reset time*) ve fark zamanı (T_d) hız zamanı (*rate time*) olarak da adlandırılabilir [36].

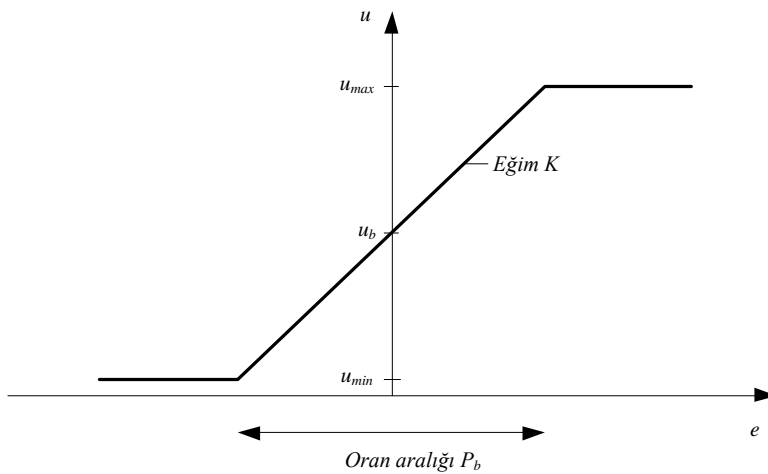
$$u(t) = K \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) \cdot d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (4.2)$$

4.3.1.1. Oransal etki

PID kontrolör algoritması sadece oransal etki kalacak şekilde düzenlenirse (4.3) ifadesi elde edilir. Böylece hatanın oranı ile çalışan basit bir kontrolör elde edilmiş olur. Denklemdaki (u_b) bir ön gerilim veya sıfırlama işaretidir.

$$u_p(t) = K \cdot e(t) + u_b \quad (4.3)$$

Hata (e) sıfır olduğunda kontrol değişkeni sadece sıfırlama değerine eşit olacaktır ($u(t) = u_b$). Sıfırlama değeri genellikle $(u_{max} + u_{min}) / 2$ değerine sabitlenir ancak bazen bu değer verilen bir hedef değerdeki kalıcı kontrol hatasını sıfırlamak amacıyla elle ayarlanabilir.



Şekil 4.3. Oransal kontrolör için hataya karşılık kontrol değişkeni karakteristiği

Oransal kontrolörde kontrol değişkeninin sınır değerleri (u_{max}) ve (u_{min}) belirlenmelidir (Şekil 4.3). Doğrusal bölge kontrolör kazancı (K) veya oran aralığı (P_b) ile tanımlanır ve normalde referans değer civarındadır. Oran aralığı ve kontrolör kazancı arasında (4.4) ifadesindeki gibi bir bağlantı vardır.

$$u_{max} - u_{min} = K \cdot P_b \quad (4.4)$$

Normalde $u_{max} - u_{min} = \%100$ varsayıldığında (4.4) ifadesinde yerine yazılırsa aşağıdaki (4.5) ifadesi elde edilir.

$$K = \frac{100}{P_b} \quad (4.5)$$

Görüldüğü gibi kontrolörün oran aralığını belirleyen (K) kazancıdır. Büyük kazanç değerleri oran aralığını azaltırken küçük kazanç değerleri bu değeri artırır. Bir başka ifadeyle kontrol kazancının büyük değerleri için oran aralığının azalması yükselme zamanını azaltır.

4.3.1.2. Toplamsal etki

PID kontrolör algoritması sadece toplamsal etki kalacak şekilde düzenlenirse (4.6) ifadesi elde edilir. Böylece hata oranının toplamı ile çalışan toplamsal kontrolör elde edilmiş olur.

$$u_i(t) = \frac{K}{T_i} \int_0^t e(t) dt \quad (4.6)$$

Toplamsal etkinin temel fonksiyonu, sistem değişkenindeki (y) kalıcı durum hatasını ortadan kaldırmaktır. Kalıcı durum hatası sistem değişkeninin (y) referans değerden (y_{sp}) farklı bir değere yerleşmesi durumunda arada oluşan fark olarak tanımlanır. Oransal kontrolörde normal şartlarda küçük bir kalıcı durum hatası vardır. Toplamsal

etki sayesinde bu hata sürekli toplanarak kontrol değişkeninin sürekli artması veya azalması sağlanır. Böylece sistem değişkeni (y) referans değere (y_{sp}) eşitlenmiş olur.

$$u(t) = K \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e dt \right) \quad (4.7)$$

(4.3) ifadesine toplamsal kontrolörün de eklenmesiyle PI (*proportional integral*) kontrolör algoritması elde edilmiş olur (4.7). PI kontrolör P kontrolörün kalıcı durum hatası üretmesinin önüne geçmek için endüstride sıkça kullanılan bir kontrol algoritmasıdır. Burada toplam zamanı (T_i) kontrolör kazancının (K) bölünüdür. Dolayısıyla toplam zamanının artan değerleri K/T_i bölümünün sonucunu azaltır. K/T_i sabiti kontrolörün kazancını ifade ettiğinden bu değer azalması (4.5) ifadesindeki kontrolör oran aralığını (P_b) artırır. Oran aralığının azalması kontrolörün yükselme zamanını artırır. Tersine oran aralığı azaldığında yükselme zamanı azalırken aşma miktarı artar.

4.3.1.3. Farksal etki

PID kontrolör algoritması sadece farksal etki kalacak şekilde düzenlenirse (4.8) ifadesi elde edilir. Böylece hata oranının farkı ile çalışan farksal kontrolör elde edilmiş olur.

$$u_D(t) = K \cdot T_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \quad (4.8)$$

Farksal etkinin başlıca amacı kapalı çevrim sistemin kararlılığını artırmaktır. Farksal etki, hatanın geleceğini tahmin etme özelliği sayesinde sistemin kararlılığını artırır. Kararlılığı bozuk olan sistemde sistem değişkeni (y), belli bir genlik ve frekansta referans değerinin (y_{sp}) veya kalıcı durum hatası varsa referans değerinden farklı bir değer etrafında salınım yapar. Sistem değişkenindeki bu salınım hatanın bir önceki değeriyle arasında sürekli fark oluşmasına sebep olur. Farksal kontrolördeki türev ifadesi bu farkı algılayarak bir kontrol işareti üretir.

(4.2) ifadesiyle verilen PID algoritmasını düşünecek olursak; toplamsal etkiyle sistemdeki kalıcı durum hatası ortadan kaldırılırken farksal etkiyle sistemin kararlılığı garanti edilmiş olur. (4.2) ifadesinde fark zamanı (T_d) kontrolör kazancıyla (K) çarpım durumundadır. Dolayısıyla fark zamanının artan değerleri $K T_d$ çarpımının sonucunu artırır. $K T_d$ değerinin doğru ayarlanması önemlidir. Normal seviyesinden çok düşük veya çok yüksek seçilen fark zamanı (T_d) sistem değişkeninde (y) belirli genlik ve frekansta salınımına neden olabilir.

4.3.1.4. PID parametrelerinin ayarı

PID kontrolör parametrelerinin ayarı için geliştirilmiş çok sayıda yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden en çok bilinen Ziegler-Nichols, elle ve hesaplama yoluyla uygulanabilmektedir. Hesaplama yöntemi açık çevrim veya kapalı çevrim cevabına göre uygulanmakta ve sistemin matematik modeline ihtiyaç duymaktadır. Elle ayarlama yönteminde ise tüm kazançlar sıfıra ayarlanır. Kontrolör kazancı (K), sistem değişkeni belirgin bir taşma ve salınım yapana kadar artırılır. Sonra fark zamanı (T_d) taşma kabul edilebilir seviyeye düşene kadar artırılır. Ardından toplam zamanı (T_i) kalıcı durum hatası sıfır olana kadar artırılır. Bu işlem parametreler uygun biçimde ayarlanana kadar tekrar edilir. Elle ayar yönteminde parametre ayarı deneme yanılma yöntemiyle yapıldığından sürecin matematik modeli gerekmemektedir ve mermer kesme süreci için uygun bir yöntemdir.

4.3.2. Bulanık mantık kontrolör

Bulanık mantık (*fuzzy logic*) ilk olarak 1965 yılında California Berkeley Üniversitesi profesörlerinden Lütü Aliasker Zade'nin (*LA Zadeh*) bu konudaki çalışmalarının yayınlanmasıyla duyulmuştur [47]. Bulanık mantık doksanlı yılların başlarında itibaren laboratuvar ortamından çıkarak endüstriyel bir araç haline dönüşmüştür. Bulanık mantık kavramı her geçen gün daha fazla önem kazanarak temelinde belirsizlikleri barındıran yapısının da etkisiyle birçok alanda kullanılmaktadır [21]. Bulanıklığın kelime anlamı, belirsizlik veya kesinlik barındırmayandır. Buradan hareketle bulanık mantık sözel değişkenlerle, belirsizlik üzerine çalışan bir yapay zeka (*artificial intelligent*) uygulaması olarak tanımlanabilmektedir. Bulanık

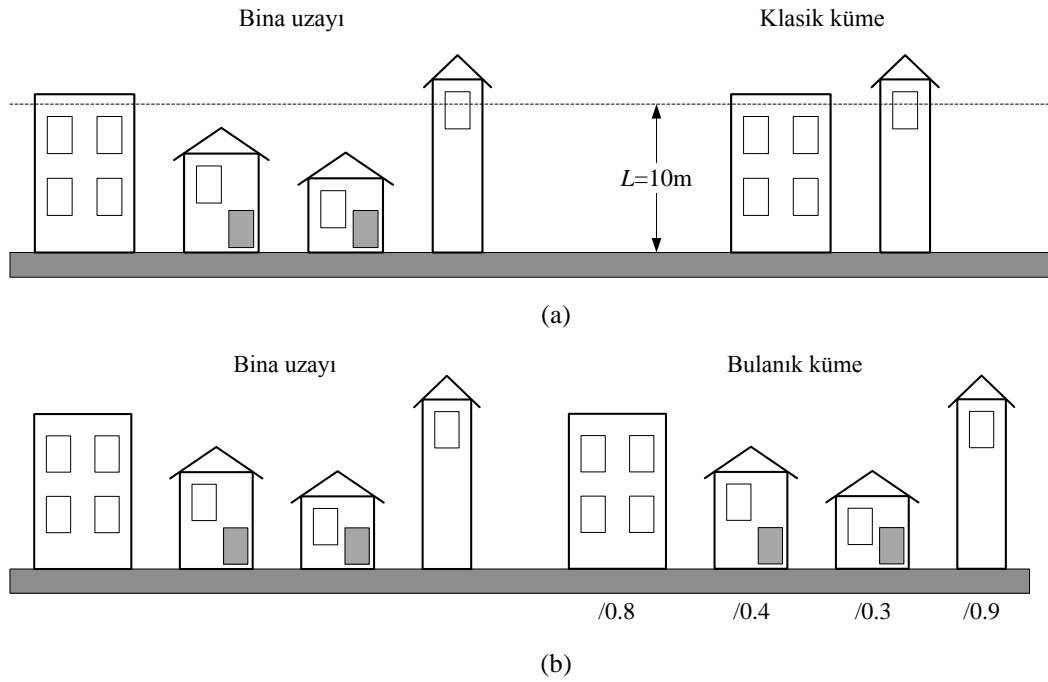
mantıkla gündelik hayatın belirsiz akışında gerçeğe daha yakın analizler yapılabilmekte ve bunun sonucunda daha doğru sonuçlar elde edilebilmektedir.

Bulanık mantıkta bir değişken, örneğin ortamın ışık seviyesi “karanlık”, “alaca karanlık” ve “aydınlık” gibi sözel etiketlerle tanımlanabilir ve bulanık kümeye ait üyelik fonksiyonlarıyla temsil edilebilir. Bulanık mantık, klasik yöntemlerle karşılaştırıldığında kesin bilgiler yerine belirsiz niteliksel bilgiler kullanarak çalışmaya olanak veren özelliği ortaya çıkmaktadır. Bu ise klasik mantıkta matematiksel olarak tanımlanamayan belirsizliklerin modellenenbilmesi anlamına gelmektedir ve bulanık mantığın getirdiği en büyük kolaylık olarak değerlendirilmektedir.

4.3.2.1. Klasik küme ve bulanık kümeler

Bulanık mantığın temeli bulanık küme ve bulanık altkümelere dayanır. Klasik mantıkta bir varlık, kümenin elemanıdır veya değildir. Matematiksel olarak ifade edildiğinde eğer bu varlık kümenin elemanıysa “1”, kümenin elemanı değilse “0” değerini alır. Bulanık mantıkta her bir varlığın kümeye üyelik derecesi mevcuttur ve kümenin üyesi olup olmadığı üyelik fonksiyonlarıyla tanımlanır. Klasik mantıkta kesin verilerden söz edilir. Klasik mantıkta bulunan soğuk-sıcak, doğru-yanlış, güzel-çirkin gibi ikili değişkenler, bulanık mantıkta biraz sıcak, biraz soğuk ve çok güzel gibi esnek niteleyicilerle gerçek dünyaya benzetilir. Bu açıdan bulanık küme, klasik küme gösteriminin genişletilmiş halidir. Aşağıda bulanık ve klasik kümeler görsel olarak verilmektedir (Şekil 4.4).

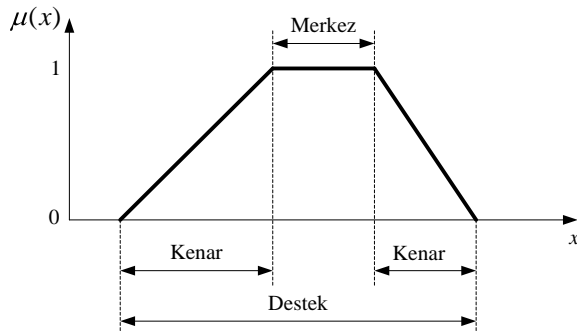
Görüldüğü gibi klasik kümede $L \geq 10m$ koşulunu sağlayan binalar kümeye üyedir. Bu koşulu sağlamayan diğer binaların klasik kümeye üyeliği yoktur. Bulanık kümede ise bütün binalar kümeye üye olmakla birlikte üyelik dereceleri boylarıyla orantılı olarak değişim göstermektedir. En uzun boylu binanın üyelik derecesi en büyüktür. Örnekten de anlaşılacağı üzere gerçek dünyada varlıklar sınırsız özelliklere sahiptir ve bulanık küme kavramı gerçek dünyayı modellemede daha güçlüdür.



Şekil 4.4. (a) Klasik (b) Bulanık kümeler

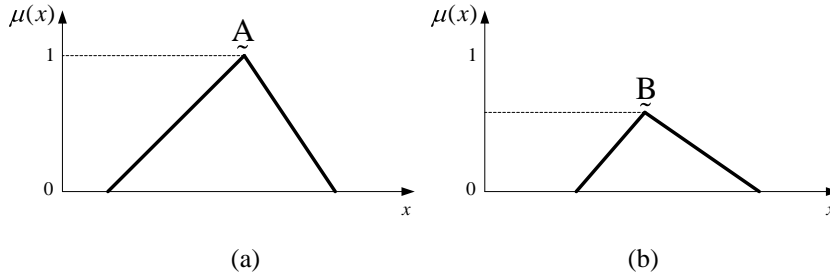
4.3.2.2. Üyelik fonksiyonları

Bulanık kümede bulunan bir elemanın üyelik derecesi üyelik fonksiyonlarıyla verilir. Küme elemanının üyelik derecesi 0–1 aralığında değişim gösterir. Üyelik derecesinin “1” olması elemanın kümeye tam üye olduğunu gösterirken “0” olması elemanın kümeye üye olmadığını gösterir. 0–1 aralığında bulunan değerler; bire yakınsa kümeye üyeliğin kuvvetli olduğunu, tersine sıfıra yakın ise kümeye üyeliğin zayıf olduğunu gösterir.



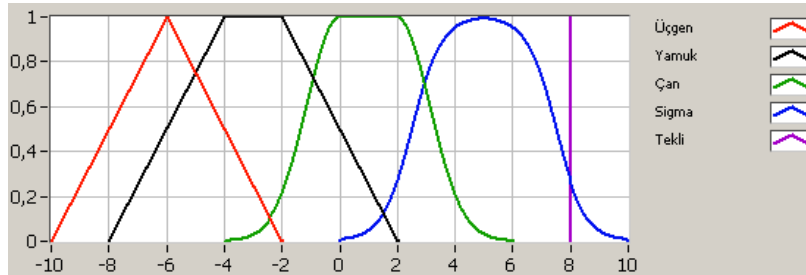
Şekil 4.5. Bulanık kümenin özellikleri

Bulanık kümeler merkez (*core*), kenar (*boundary*) ve destek (*support*) olmak üzere üç ana bölüme ayrılabilir (Şekil 4.5). Merkez, kümeye tam üye olan elemanların bulunduğu kısımdır ve burada üyelik derecesi 1'dir. Kenarlarda kümeye 0–1 arasında bir üyelik derecesiyle bağlı elemanlar bulunur. Destek kısmı ise tüm kümeyi kapsar ve içinde en zayıftan en güçlüye kadar bütün üyeler bulunur [48].



Şekil 4.6. (a) Normal bulanık (b) Normal olmayan bulanık küme

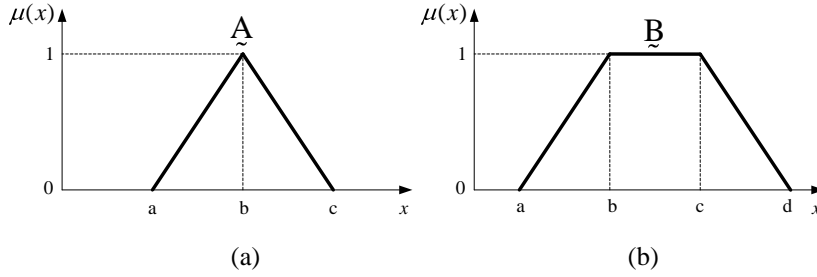
Bulanık kümeler normal ve normal olmayan (*subnormal*) şeklinde ikiye ayrılabilirler (Şekil 4.6). Normal bulanık kümede görüldüğü gibi \tilde{A} kümesinin en az bir elemanı kümeye tam üyedir. Ancak normal olmayan \tilde{B} bulanık kümesinde kümenin hiçbir elemanı kümeye tam üye değildir.



Şekil 4.7. Üçgen, yamuk, çan, sigma ve tekli üyelik fonksiyonları

Yukarıda çok kullanılan; üçgen (*triangular*), yamuk (*trapezoid*), çan (*gaussian*), sigma (*sigmoid*) ve tekli (*singleton*) üyelik fonksiyonları verilmektedir (Şekil 4.7). Üçgen ve yamuk tip üyelik fonksiyonları doğrusal bir eğimle artış gösterir ve maksimum değerine ulaştıktan sonra tekrar doğrusal bir eğimle azalır. Üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonunu birbirinden ayıran özellik üçgende kümeye tam üye olan eleman sayısının sadece bir, yamuktaysa birden çok olmasıdır. Aşağıda tezde

gerçekleştirilen BM kontrolörlerde de kullanılan üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları ve parametreleri verilmektedir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. (a) Üçgen (b) Yamuk üyelik fonksiyonları

Yukarıda verilen \tilde{A} üçgen üyelik fonksiyonunun a , b ve c parametrelerine göre matematiksel ifadesi (4.9) ile verilmektedir (Şekil 4.8-a) [21].

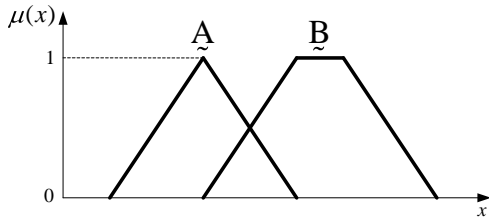
$$\mu_{\tilde{A}}(x, a, b, c) = \begin{cases} 0 & , x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & , a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & , b \leq x \leq c \\ 0 & , c \leq x \end{cases} \quad (4.9)$$

Yukarıda verilen \tilde{B} yamuk üyelik fonksiyonunun a , b , c ve d parametrelerine göre matematiksel ifadesi (4.10) ile verilmektedir (Şekil 4.8-b) [21].

$$\mu_{\tilde{B}}(x, a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & , x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & , a \leq x \leq b \\ 1 & , b \leq x \leq c \\ \frac{x-a}{b-a} & , c \leq x \leq d \\ 0 & , d \leq x \end{cases} \quad (4.10)$$

4.3.2.4. Bulanık kümeler üzerinde temel aritmetik işlemler

$\underline{\tilde{A}}$ ve $\underline{\tilde{B}}$, X evrensel kümesinde $\mu_{\underline{\tilde{A}}}(x)$ ve $\mu_{\underline{\tilde{B}}}(x)$ gibi üyelik fonksiyonlarıyla tanımlı bulanık kümeler olsun (Şekil 4.9). Bu iki bulanık küme üzerinde tanımlanan birleşim (*union*), kesişim (*intersection*) ve tümleyen (*complement*) aritmetik işlemlerinin ayrıntıları aşağıda verilmektedir [49] [50].



Şekil 4.9. X evrensel kümesinde tanımlı $\underline{\tilde{A}}$ ve $\underline{\tilde{B}}$ bulanık kümeleri

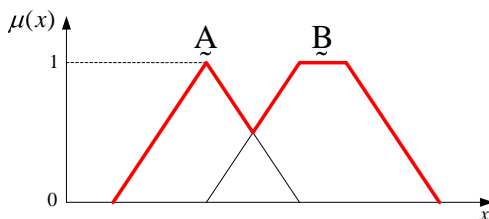
Birleşim: Birleşim işleminin matematiksel ifadesi (4.11) ile verilir.

$$\mu_{\underline{\tilde{A}} \cup \underline{\tilde{B}}}(x) = \max \mu_{\underline{\tilde{A}}}(x), \mu_{\underline{\tilde{B}}}(x), x \in X \quad (4.11)$$

Birleşim veya “VE” (*AND*) bulanık operatörü $\underline{\tilde{A}}$ ve $\underline{\tilde{B}}$ bulanık kümelerinin aritmetik toplamı olarak temsil edilir ve (4.12) ifadesiyle tanımlanır.

$$\mu_{\underline{\tilde{A}} \cup \underline{\tilde{B}}}(x) = \mu_{\underline{\tilde{A}}}(x) + \mu_{\underline{\tilde{B}}}(x) - \mu_{\underline{\tilde{A}}}(x) \cdot \mu_{\underline{\tilde{B}}}(x), x \in X \quad (4.12)$$

$\underline{\tilde{A}}$ ve $\underline{\tilde{B}}$ bulanık kümeleri üzerinde uygulanmış birleşim “VE” operatörünün grafiksel gösterimi aşağıda verilmektedir (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Grafiksel olarak birleşme işlemi

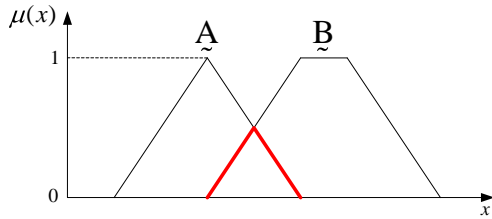
Kesişim: Kesişim işleminin matematiksel ifadesi (4.13) ile verilir.

$$\mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x) = \min \mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x), x \in X \quad (4.13)$$

Kesişim veya “VEYA” (OR) bulanık operatörü \tilde{A} ve \tilde{B} bulanık kümelerinin aritmetik çarpımı olarak temsil edilir ve (4.14) ifadesiyle tanımlanır.

$$\mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x) \cdot \mu_{\tilde{B}}(x), x \in X \quad (4.14)$$

\tilde{A} ve \tilde{B} bulanık kümeleri üzerinde uygulanmış kesişim “VEYA” operatörünün grafiksel gösterimi aşağıda verilmektedir (Şekil 4.11).

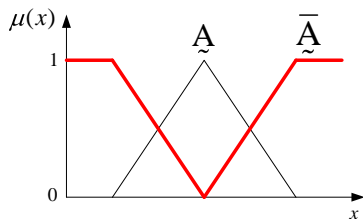


Şekil 4.11. Grafiksel olarak kesişme işlemi

Tümleyen: Tümleyen işleminin matematiksel ifadesi (4.15) ile verilir.

$$\mu_{\tilde{A}^c}(x) = 1 - \mu_{\tilde{A}}(x), x \in X \quad (4.15)$$

\tilde{A} bulanık kümesine uygulanmış tümleyen “DEĞİL” işleminin grafiksel gösterimi aşağıda verilmektedir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Grafiksel olarak tümleyen işlemi

Bulanık bağıntı: Yukarıda bulanık kümelerde kullanılan temel aritmetik işlemler verilmiştir. Ancak bulanık mantık yönteminin tam olarak anlaşılabilmesi için kural tabanının da temelini oluşturan bulanık bağıntı (*fuzzy relation*) kavramının bilinmesi gerekmektedir. Bulanık bağıntı kavramı aşağıda bir örnek sistem üzerinde ayrıntılarıyla verilmektedir [48].

Örnek ısı kontrol sisteminde; “Sıcaklık” ortam sıcaklık algılayıcısından elde edilen giriş değişkeni ve “Güç” ısıtıcı gücünü temsil eden sistemin çıkış değişkenidir. Sıcaklık değişkeni X , güç değişkeni Y bulanık evrensel kümeleriyle temsil edilmektedir. X ve Y bulanık evrensel kümeleri için tanımlanmış sözel etiketler (4.16) ile verilmektedir.

$$X = \text{Soğuk, Ilık, Sıcak} \quad Y = \text{Az, Normal, Aşırı} \quad (4.16)$$

Aşağıda X ve Y bulanık evrensel kümeleri arasındaki bağıntı ve kural tabanı bağlantıları görülmektedir (Tablo 4.1). Örneğin tablonun ilk hücresinde; (Eğer {“Sıcaklık” = “Soğuk”} ise O zaman {“Güç”= “Az”}) kuralına ilişkin bağıntı bulunmaktadır.

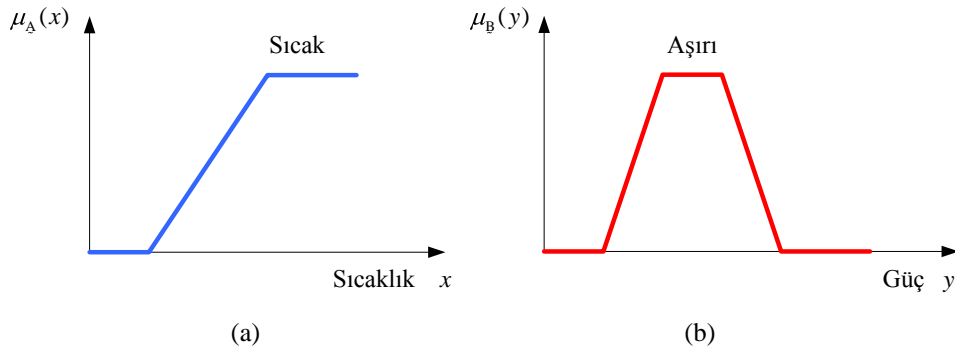
Tablo 4.1. X ve Y kümeleri için R bulanık bağıntısı

R		Y		
		Az	Normal	Aşırı
X	Soğuk	1	0,2	0
	Ilık	0,4	1	0,8
	Sıcak	0	0,6	1

X ve Y bulanık evrensel kümelerinde $\mu_A(x)$ ve $\mu_B(y)$ gibi üyelik fonksiyonlarıyla tanımlı bulanık kümeler için R bulanık bağıntısı (4.17) ifadesiyle verilir.

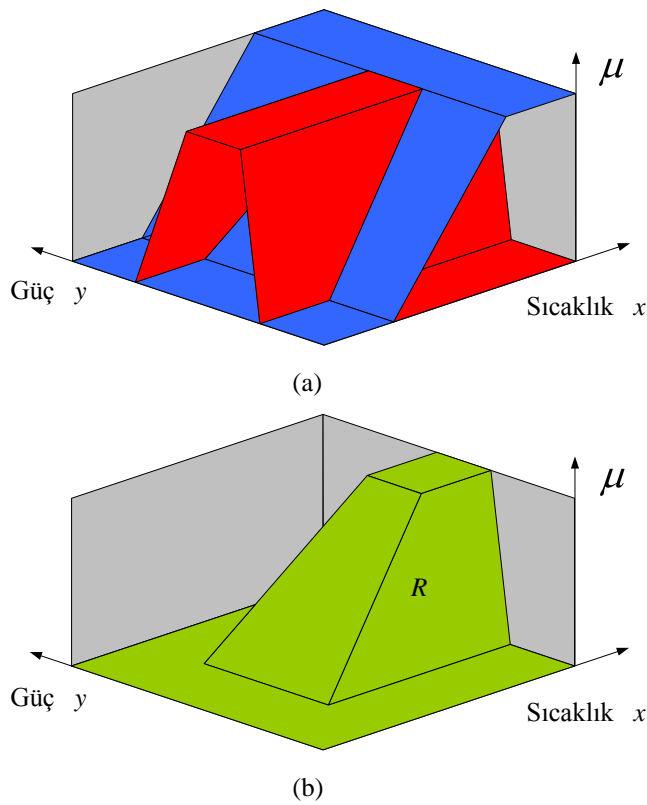
$$R = X \times Y \quad (4.17)$$

Aşağıda “Sıcak” ve “Aşırı” sözel etiketleri için tanımlanmış $\mu_A(x)$ ve $\mu_B(y)$ üyelik fonksiyonları görülmektedir (Şekil 4.13).



Şekil 4.13. (a) “Sıcak” (b) “Aşırı” sözel etiketleriyle tanımlanmış üyelik fonksiyonları

Aşağıda $\mu_A(x)$ ve $\mu_B(y)$ üyelik fonksiyonlarının üç boyutlu uzayda birbirlerini kestiği noktalar ve bulanık bağıntı uygulandıktan sonra elde edilen kümenin üç boyutlu görüntüsü görülmektedir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. (a) “Aşırı” (b) “Sıcak” üyelik fonksiyonları (c) $R = X \times Y$ bulanık bağıntısının üç boyutlu gösterimi

$R = X \times Y$ bulanık bağıntısı $\mu_A(x)$ ve $\mu_B(y)$ üyelik fonksiyonlarının kartezyen çarpımıyla elde edilir. Kartezyen çarpım iki ya da daha fazla sayıda üyelik fonksiyonuna kesişim “VEYA” işleminin uygulanmasıyla gerçekleştirilir. Aşağıda

(4.18) ifadesinde $R = X \times Y$ bulanık bağıntısıyla elde edilmiş $\mu_R(x, y)$ üyelik fonksiyonunun matematiksel ifadesi görülmektedir [48].

$$\mu_R(x, y) = \min \mu_A(x), \mu_B(y) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(y) \quad (4.18)$$

Bileşke bulanık bağıntı: Bileşke bulanık bağıntı (*fuzzy composition*) iki veya daha fazla bulanık bağıntı arasındaki ilişkiyi tanımlamakta kullanılır. $R = X \times Y$ ve $S = Y \times Z$ bulanık bağıntılar olduğu varsayılırsa R ve S bağıntılarının bileşke bulanık bağıntısı $T = R \circ S$ şeklinde gösterilir ve (4.19) ifadesiyle verilir.

$$\mu_T(x, z) = \max_{y \in Y} \min \mu_R(x, y), \mu_S(y, z) \quad (4.19)$$

Bileşke bulanık bağıntı kavramının daha iyi anlaşılabilmesi için yukarıda verilen ısı kontrol sistemine ortamın nem seviyesini gösteren “Nem” değişkeni eklenmiştir. Aşağıda ısıtıcı gücüyle ortamın nemi arasındaki ilişkiyi gösteren S bulanık bağıntısı görülmektedir (Tablo 4.2).

Tablo 4.2. Y ve Z kümeleri için S bulanık bağıntısı

S		Z		
		Çok nemli	Nemli	Az nemli
Y	Az	1	0,2	0
	Normal	0,6	1	0,4
	Aşırı	0	0,4	1

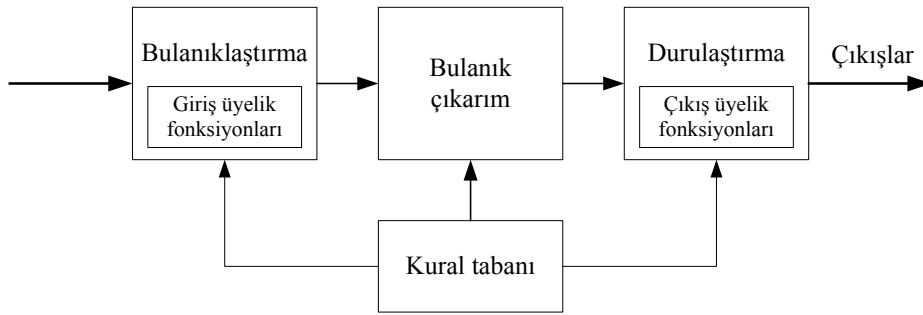
R ve S bulanık bağıntılarının birleştirilmesiyle elde edilen T bileşke bulanık bağıntısı ortamın sıcaklığı ve nemi arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır (Tablo 4.3). Görüldüğü gibi ortam sıcaklığı azaldıkça nem seviyesi artmakta, tersine sıcaklığın artması durumunda nem azalmaktadır.

Tablo 4.3. R ve S bulanık bağıntıları için T bileşke bulanık bağıntısı

T		Z		
		Çok nemli	Nemli	Az nemli
X	Soğuk	1	0,2	0,2
	Ilık	0,6	1	0,8
	Sıcak	0,6	0,6	1

4.3.2.6. Bulanık mantık kontrolörün temel bileşenleri

Bulanık mantık kontrolörler temel olarak, bulanıklaştırma (*fuzzification interface*), kural tabanı (*knowledge base, rule base*), bulanık çıkarım (*decision making logic, fuzzy inference system*) ve durulaştırma (*defuzzification interface*) olmak üzere dört birimden oluşur. Aşağıda bulanık mantık kontrolörün dört birimi ve aralarındaki ilişkiyi gösteren blok şema görülmektedir (Şekil 5.13).



Şekil 4.15. Bulanık mantık kontrolörün genel yapısı

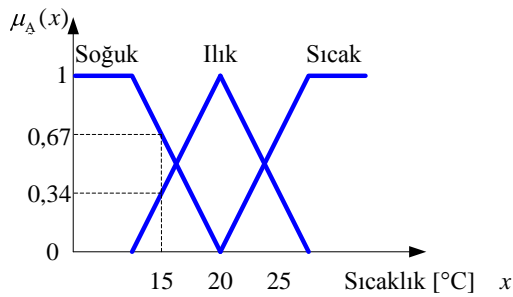
Bulanıklaştırma birimi, giriş üyelik fonksiyonlarını kullanarak gerçek verilere karşılık gelen bulanık ifadeleri üretir. Kural tabanı, uzman görüşlerini “Eğer-O zaman” (*if-then*) kurallarıyla yansıtan bulanık kurallardan oluşur. Bulanık çıkarım birimi, bulanıklaştırıcı çıkışında oluşan ifadeleri ve kural tabanındaki kuralları eşleştirip yorumlama yaparak bulanık bir kontrol çıkışı üretir. Durulaştırma birimi, çıkış üyelik fonksiyonlarını kullanarak çıkarım ünitesinde üretilen bulanık kontrol çıkışını gerçek verilere dönüştürür.

Bulanıklaştırma: Bu birimin giriş değişkenlerinin değerlerini ölçmek, giriş değişkenlerinin değişim kadranını 0–1 aralığına normalleştirmek (*normalization*) ve normalleştirilmiş giriş değişkenlerini bulanık giriş kümesinde tanımlanan etiketlerle uygun sözel ifadelere dönüştürmek gibi başlıca üç temel görevi vardır.

Giriş değişkenleri gerçek dünyadan elde edilen veriler olduğundan değişim aralıkları çok farklı seviyelerde olabilir. Bu nedenle değişken aralıklarının standart olarak 0–1 aralığına dönüştürülmesi gereklidir. Bu işlem normalleştirme olarak bilinir ve en basit haliyle (4.20) ifadesiyle elde edilir.

$$y = \frac{x - \min x_1..x_N}{\max x_1..x_N - \min x_1..x_N} \quad (4.20)$$

Bulanıklaştırma işlemi normalleştirilmiş veri üzerinde gerçekleştirilir. Aşağıda “Sıcaklık” değişkeni için verilen üyelik fonksiyonları üzerinde gerçek sıcaklık değerinin bulanıklaştırılması görülmektedir (Şekil 4.16). Görüldüğü gibi 15 °C gerçek sıcaklık değeri 0,67 ağırlığıyla “Soğuk” bulanık kümesinin üyesi iken 0,34 ağırlığıyla “Ilık” bulanık kümesinin de üyesi durumundadır. Verilen 15 °C sıcaklık değerinin “Sıcak” bulanık kümesine üyeliği bulunmamaktadır.

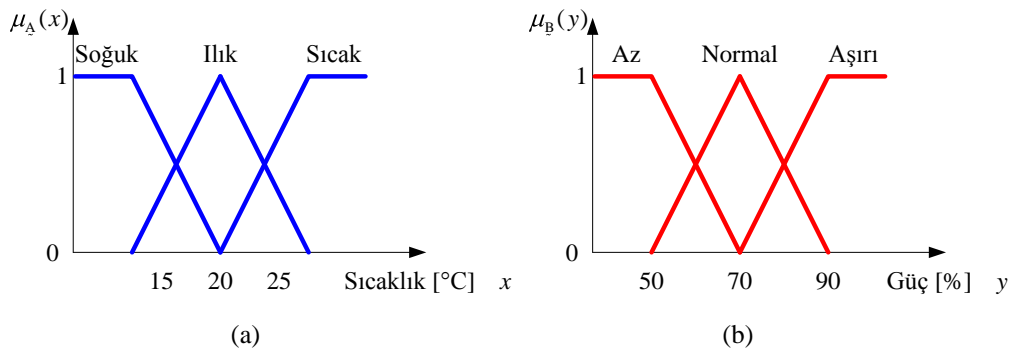


Şekil 4.16. Gerçek verinin bulanıklaştırılması

Kural tabanı: Kural tabanı uygulama alanıyla ilgili bilgileri ve kontrol amaçlı operatörleri (*attendant*) içerir. Kural tabanı, veri tabanı (*data base*) ve sözel kontrol kurallarının bulunduğu kural tabanından (*linguistic control rule base*) oluşur. Veri tabanı bulanık çıkarım ünitesinin de kullandığı bilgilerin bulunduğu kısımdır. Sözel kontrol kuralları ise sistemin giriş ve çıkış değişkenleri arasındaki ilişkiyi temsil eden (“Eğer “Sıcaklık” = “Soğuk” ise O zaman “Güç” = “Aşırı””) kurallarından oluşur. Giriş sayısı birden fazla ise “VE”, “VEYA” gibi operatörler ile giriş koşulları birbirine bağlanır (“Eğer “Sıcaklık” = “Soğuk” VE “Nem” = “Nemli” ise O zaman “Güç” = “Normal”). Kurallar da aralarında benzer şekilde “VE”, “VEYA” gibi operatörlerle birbirine bağlanabilirler. Ayrıca bazı uygulamalarda kuralların ağırlıkları da 0–1 aralığında değiştirilebilir. Böylece kontrolör tasarımı daha da esnek hale getirilebilir.

Bulanık çıkarım: Bulanık çıkarım veya karar verme mantığı bulanık mantık kontrolörün özüdür. Bu birim insansı karar verme özelliğini taklit edebilme

yeteneğine sahiptir. Bulanık çıkarım işlemi, bulanıklaştırılmış verilerle sözel kontrol kurallarının birleştirilmesiyle gerçekleştirilir. Bulanık mantıkta kullanılan çıkarım yöntemleri Mamdani max-min ve max-prod, Tsukamoto ve Takagi-Sugeno şeklinde sıralanabilir. Tezde BM kontrolörlerin tasarımında kullanılan “*LabVIEW PID Control Toolset*” yazılımında Mamdani max-min (*minimum implication*) ve Mamdani max-prod (*product implication*) yöntemleri bulunduğundan aşağıda iki yöntemin de işleyişi bir örnek üzerinde ayrıntılı olarak verilmektedir.



Şekil 4.17. (a) "Sıcaklık" (b) "Güç" değişkenleri için üyelik fonksiyonları

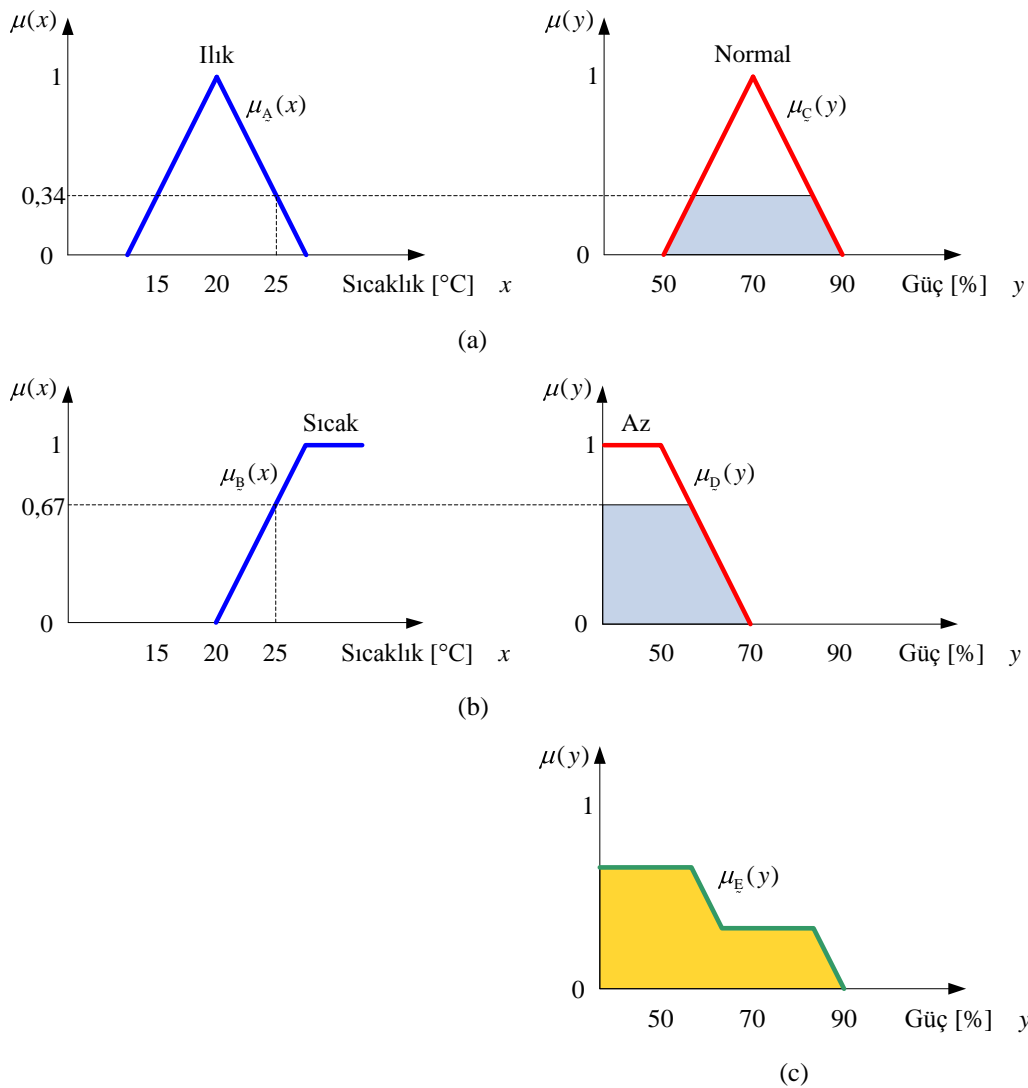
Yukarıda verilen örnek ısı kontrol sistemindeki ortam sıcaklığı "Sıcaklık" ve ısıtıcı gücü "Güç" değişkenlerine ait üyelik fonksiyonları görülmektedir (Şekil 4.17). Bu sistem için yazılmış iki "Eğer-O zaman" kurallarının aşağıdaki gibi olduğu düşünülürse

1. kural: Eğer { "Sıcaklık" = "Ilık" } ise O zaman { "Güç" = "Normal" }
2. kural: Eğer { "Sıcaklık" = "Sıcak" } ise O zaman { "Güç" = "Az" }

Ortam sıcaklığının 25°C olması durumunda Mamdani max-min ve max-prod çıkarım yöntemlerine göre çıkış bulanık kümesinin elde ediliş aşamaları aşağıda görsel olarak verilmektedir. Öncelikle 25°C gerçek sıcaklık değerine karşılık gelen bulanık ifadeler elde edilmelidir. Buna göre verilen 25°C sıcaklık değeri 0,67 üyelik derecesiyle "Sıcak" bulanık kümesinin ve 0,34 üyelik derecesiyle "Ilık" bulanık kümesinin elemanı durumundadır (Şekil 4.18-a ve b).

Verilen sıcaklık değeri girişin "Ilık" ve "Sıcak" bulanık kümelerinin üyesi olduğundan çıkış bulanık kümesi "1. kural" ve "2. kural" için elde edilen

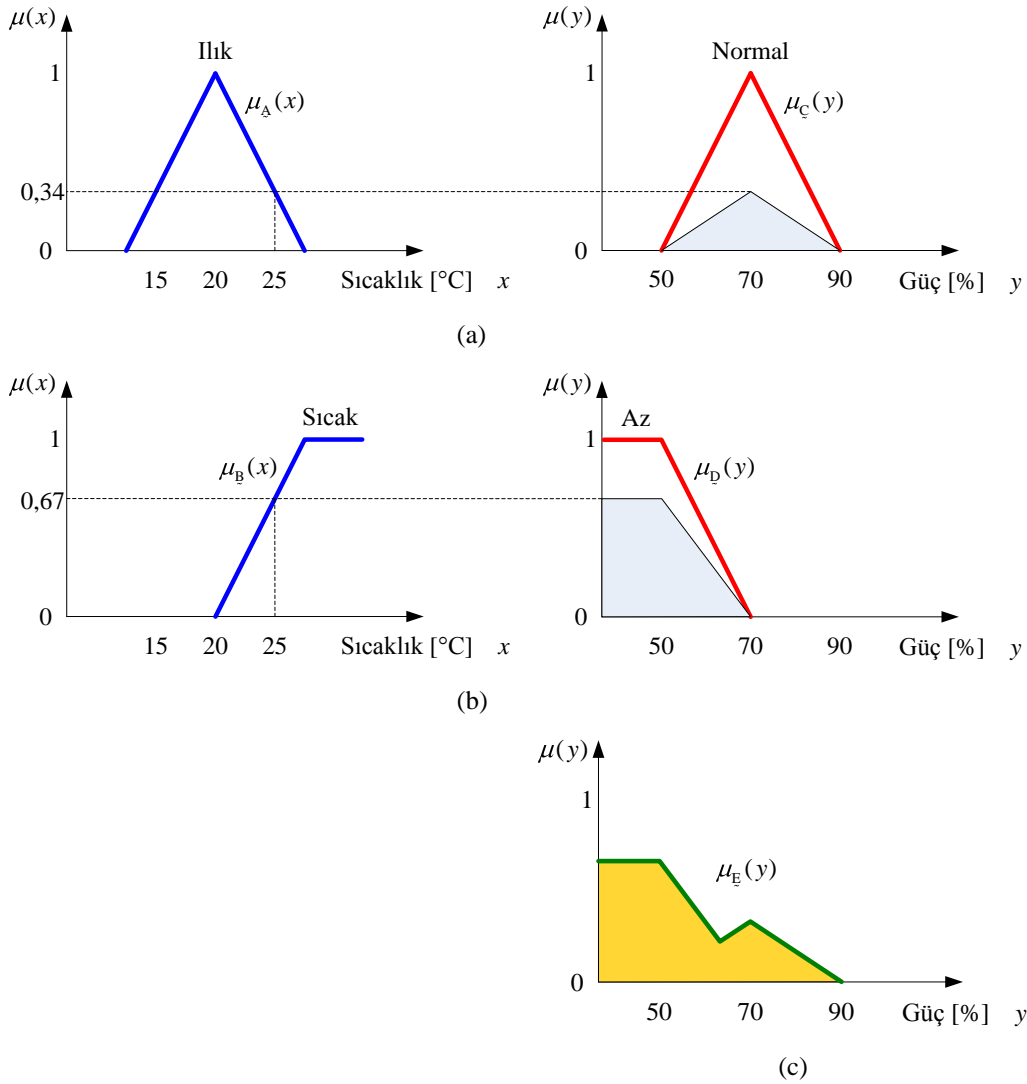
çıkarımların birbiri üzerine bindirilmesiyle (*superposition*) elde edilir. “Kural 1” gereği ortam sıcaklığı “Ilık” bulanık kümesindeyse çıkış gücü “Normal” bulanık kümesinde olacaktır. Buna göre verilen sıcaklık değerine karşılık gelen “Ilık” bulanık kümesinin 0,34 dereceli üyesinin “Normal” bulanık kümesindeki karşılığı bulunur (Şekil 4.18-a). “Normal” bulanık kümesi içindeki taralı alan “1. kural” çıkarımından elde edilen yeni bulanık kümedir (Şekil 4.18-a). Benzer şekilde “2. kural” için aynı işlemler yapılarak “Az” bulanık kümesi içindeki taralı alanla gösterilen yeni bulanık küme elde edilir (Şekil 4.18-b). İki kural için yapılan çıkarımlardan elde edilen sonuçların birbiri üzerine bindirilmesiyle bulanık çıkış kümesi elde edilir (Şekil 4.18-c).



Şekil 4.18. (a) Mamdani max-min yöntemine göre 1. kural için (b) 2. kural için çıkarım işlemleri (c) İki kural sonucu elde edilen çıkarımların birleşimi

Yukarıda görsel olarak verilen Mamdani max-min çıkarım yönteminin matematiksel eşitliği (4.21) ile verilir.

$$\mu_E(y) = \max \left(\min L_1, \mu_C(y) \right), \min \left(L_2, \mu_D(y) \right) \quad (4.21)$$



Şekil 4.19. (a) Mamdani max-prod yöntemine göre 1. kural için (b) 2. kural için çıkarım işlemleri (c) İki kural sonucu elde edilen çıkarımların birleşimi

(4.21) ifadesinde verilen L_1 ve L_2 parametreleri aşağıda (4.22) ifadesiyle verilir. Verilen L_1 ve L_2 ifadelerinde yer alan x_0 örnekte verilen 25°C ortam sıcaklık değerine karşılık gelmektedir.

$$\begin{aligned}
L_1 &= \max_{x \in X} \min \mu_A(x_0), \mu_A(x) \\
L_2 &= \max_{x \in X} \min \mu_B(x_0), \mu_B(x)
\end{aligned}
\tag{4.22}$$

Mamdani max-prod çıkarım yönteminin max-min den farkı “min” veya “VE” operatörü yerine “prod” veya cebirsel çarpma operatörünün kullanılmasıdır. Böylece çıkarım işlemi sonunda elde edilen bulanık küme çıkış bulanık kümesiyle aynı karakteristikte fakat normal olmayan bulanık küme formunda elde edilir (Şekil 4.19-a ve b). Burada da iki kural için elde edilen çıkarım sonuçları üst üste bindirilerek çıkış bulanık kümesi elde edilir (Şekil 4.19-c).

Yukarıda görsel olarak verilen Mamdani max-prod çıkarım yönteminin matematiksel eşitliği (4.23) ile verilir ve L_1 ve L_2 parametreleri de yukarıda (4.22) ifadesiyle hesaplanır.

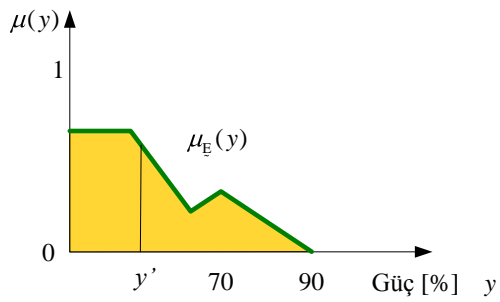
$$\mu_E(y) = \max \text{prod } L_1, \mu_C(y) , \text{prod } L_2, \mu_D(y)
\tag{4.23}$$

Durulaştırma: Kontrol sistemlerinde kontrol değişkeninin gerçek değerlerden oluşması gerekir. Dolayısıyla bulanık çıkarım biriminden elde edilen bulanık sonuçların gerçek değerlere dönüştürülmesi gerekir. Durulaştırma işlemi için literatürde maksimum üyelik, ağırlık merkezi, ağırlık ortalaması ve maksimum üyeliklerin ortalaması (*mean max*) gibi yöntemler bulunmaktadır. Tezde bulanık mantık kontrolörlerin tasarımında kullanılan “*LabVIEW PID Control Toolset*” yazılımında, ağırlık merkezi (*Center of Area-CoA*), iyileştirilmiş ağırlık merkezi (*modified Center of Area-mCoA*), ağırlık ortalaması (*Center of Sums-CoS*), maksimum üyelik (*Center of Muximum-CoM*) ve maksimum üyeliklerin ortalaması (*Mean of Maximum-MoM*) olmak üzere beş çeşit durulaştırma yöntemi mevcuttur.

Söz konusu yöntemlerden hangisinin seçileceğine üzerinde çalışılan uygulamanın özelliklerine göre karar verilmelidir [21]. Her bir yöntemin avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Örneğin bir yöntem çıkarım sonucunda elde edilen bulanık kümeyi en doğru biçimde gerçek değere dönüştürürken çok yoğun

matematiksel işlemler yapılmasını gerektiriyor olabilir. Burada doğru biçimde gerçek değere dönüştürmesi yöntemin avantajı olurken aşırı matematiksel işlemler gerektirmesi ekstra maliyetler getireceğinden dezavantajını oluşturur.

Deney düzeneğine uygulanan bulanık mantık kontrolörlerde ağırlık merkezi tip durulaştırma yöntemi kullanılmıştır. Aşağıda ağırlık merkezi yönteminin görsel gösterimi verilmektedir (Şekil 4.20).



Şekil 4.20. Ağırlık merkezi tip durulaştırma yöntemi

Yukarıda grafikte gösterilen ağırlık merkezi yönteminin matematiksel ifadesi (4.24) ile verilir.

$$y' = \frac{\int \mu(y) \cdot y \cdot dy}{\int \mu(y) \cdot dy} \quad (4.24)$$

BÖLÜM 5. TASARLANAN DENEY DÜZENEĞİ

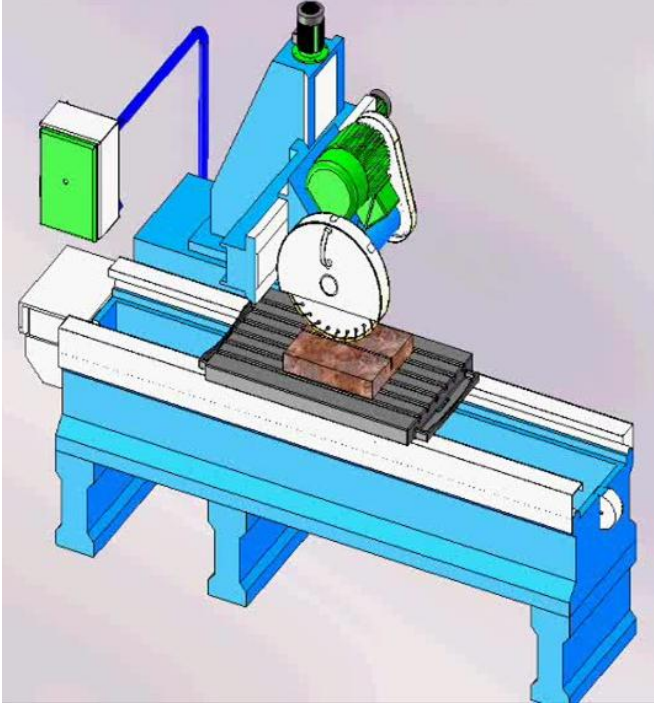
5.1. Giriş

Gerçekleştirilen tez çalışmasının öncelikli hedefi dairesel testere ST blok kesme makinesi olduğundan deneysel çalışmalar söz konusu makinenin laboratuvar ölçekli küçük bir modeli üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu laboratuvar ölçekli ST makinesi daha önce bir doktora tezi [1] kapsamında ilk defa tasarlanmış ve ardından ihtiyaca binaen çeşitli yenilemelere tabii tutulmuştur [3, 51-53]. Ancak makinenin tez çalışmalarında kullanımı için hazırlanan alt yapı çalışmaları bir TÜBİTAK araştırma projesi kapsamında hazırlanmıştır [34].

Bu bölümde söz konusu deney düzeneğinin ayrıntılı bir sunumu verilmektedir. İlk olarak deney düzeneğinin mekanik tasarımı verilecek, ardından makine üzerine kurulan veri toplama sistemi tanıtılacak, daha sonra makine parametrelerinden ilerleme ve testere dönüş hızlarını düzenlemek üzere tasarlanan kontrol sistemleri sunulacak ve son gerçekleştirilen dört kontrolörün tasarım bilgileri ayrıntılarıyla verilecektir.

5.2. Mekanik tasarım

Kullanılan deney düzeneğinin yapısı endüstride yan kesme olarak bilinen makineye benzerdir. Ancak ihtiyaçlara göre mekanik ve kontrol sisteminin iyileştirilmesiyle ST makinesinin çalışma prensibine benzeyen bir hale getirilmiştir. ST makinelerinde düşey ve yatay iki testere olmasına rağmen yatay testerenin kesme işlemine etkisinin fazla olmaması sebebiyle deney düzeneğinde sadece 400mm çaplı düşey testere kullanılmıştır. Aşağıda kullanılan deney düzeneğinin üç boyutlu çizimi görülmektedir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Deney düzeneğinin üç boyutlu çizimi

Deney düzeneğinde testereyi taşıyan platform kızaklar üzerinde yukarı-aşağı ve testere düzlemine dikey doğrultuda öne-arkaya 0,75kW gücünde asenkron motorlarla hareket ettirilir. Platformun iki boyutlu yukarı-aşağı ve öne-arkaya hareketinin çözünürlüğü 1mm hassasiyetindedir. Testere özel yataklı bir mülle platforma sabitlenmiş ve kasnak-kayış tertibatıyla 5,5kW gücünde bir asenkron motora bağlanmıştır. İhtiyaç duyulması durumunda platforma farklı güçte motorlar bağlanarak testere gücü ayarlanabilmektedir. Testere motorunun sürücüsü (*inverter*) kontrolü sayesinde testere dönüş hızı kesintisiz olarak ayarlanabilmektedir.

Kesme derinliği ve dilim kalınlığı kesme işlemi öncesi ayarlandıktan sonra testere konumu kesim boyunca değiştirilmemektedir. Deney düzeneğinde kesme işlemi konumlanmış ve belirli bir hızda dönen testereye kayacın ilerletilmesiyle sağlanmaktadır. Numuneyi taşıyan vagonun ileri-geri yöndeki ilerleme hızı dişli sisteme bağlı 0,75kW gücündeki asenkron motorun sürücüsüyle kontrolü sayesinde kesintisiz olarak değiştirilebilmektedir. Makinenin veri toplama ve kontrol sistemlerinin verildiği aşağıdaki kısımlarda ilerleme hızı ve diğer parametrelerin değişim aralıkları ayrıntılı olarak verilmektedir.

5.4. Veri Toplama Sisteminin Tasarımı

Veri toplama sistemleri tasarlanırken donanım, yazılım ve aksesuar bileşenlerinin seçimi oldukça önemli bir konudur. Aşağıda deney düzeneği için tasarlanan veri toplama sisteminin bileşenleri ve tasarım aşamaları sunulacaktır. İlk olarak gerekli donanım ve yazılım bileşenlerinin seçimi ve seçilen bileşenlerin özellikleri ayrıntılı olarak verilecektir. Ardından veri toplama sisteminin tasarım bilgileri üzerinde durulacaktır.

5.4.1. Donanım ve yazılımının belirlenmesi

Kullanılacak donanım ve yazılımın seçilme işlemi oldukça önemlidir. Deney düzeneğine uygun donanım ve yazılım seçiminde yukarıda verilen bilgiler dikkate alınmıştır. Aşağıda seçilen donanım ve yazılımlar iki başlık altında verilmektedir.

5.4.1.1. Seçilen donanımlar

Deney düzeneğinin veri toplama sistemine seçilen donanımlar dört parçadan oluşmaktadır. Bunlar veri toplama kartı, genişleme kartları, analog çıkış yalıtım birimi ve akım ve gerilim dönüştürücüleri olmak üzere ayrı başlıklar altında aşağıda verilmektedir.

Veri toplama kartı: Günümüz veri toplama kartları birden fazla ölçme ve kontrol fonksiyonu yerine getirebilir biçimde üretilmektedir. Böylece tek bir kartla tüm veri toplama sistemi tasarlanabilmektedir. Seçilen veri toplama kartı da NI (*National Instrument*) firmasının çok fonksiyonlu ‘USB 6259 M’ modelidir. Kart; 16 bit çözünürlüğe ve 1,25MS/s örnekleme hızı olan 32 adet analog girişe, 16 bit çözünürlüğü ve 2,8MS/s örnekleme hızı olan 4 adet analog çıkışa, TTL/CMOS uyumlu toplam 48 adet dijital giriş çıkış (G/Ç) birimine ve 32 bit 80MHz 2 adet sayıcı/zamanlayıcıya sahiptir. Kartın bilgisayarla olan bağlantısı günümüzün en yaygın haberleşme standardı haline gelmiş olan USB terminaliyle gerçekleştirilmektedir. Kartın USB ile haberleşmesi sayesinde deney düzeneği dizüstü bilgisayarlarla kontrol edilebilmektedir. Aşağıda veri toplama kartı görülmektedir (Şekil 5.2).



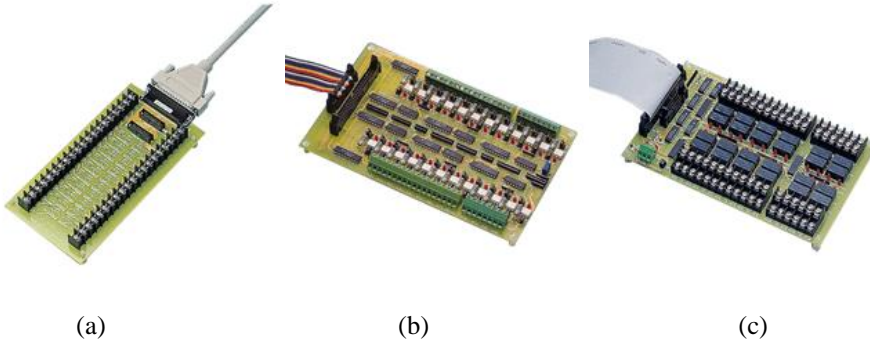
Şekil 5.2. Çok fonksiyonlu veri toplama kartı

Kartın analog girişlerinden ikisi testere motoru akım ve gerilim işaretlerini ölçmekte, analog çıkışlardan üçü testere dönüş, ilerleme ve su akış hızlarını kontrol etmekte ve iki sayıcı/zamanlayıcı birimi platformun yukarı-aşağı ve öne-arkaya hareketini ölçmekte kullanılmaktadır. Sayısal G/Ç biriminin yarısı giriş diğer yarısı çıkış olarak yapılandırılmıştır. Sayısal girişlerden 12 tanesi sırasıyla; platformun yukarı-aşağı, öne arkaya ve vagonun ileri-geri son sınırlarına yerleştirilmiş algılayıcılar, platformu hareket ettiren iki motorun aşırı akım işaretleri, kontrol paneli başlama işareti, besleme faz sırası ters işareti ve besleme gerilimi dengesiz işareti için kullanılmaktadır. Sayısal çıkışlardan da 8 tanesi sırasıyla; ana durdurma, platform yukarı-aşağı ve öne-arkaya, vagon ileri-geri, testere başla ve su akışı başla kontrol işaretleri için kullanılmaktadır.

Genişleme kartları: Veri toplama kartının sayısal G/Ç terminallerini yalıtım için iki ayrı genişleme kartı kullanılmıştır (Şekil 5.3-a ve b). Ayrıca analog girişler için de bir genişleme kartı kullanılmıştır (Şekil 5.3-c). Sayısal G/Ç için kullanılan genişleme kartları tam bir elektriksel yalıtım sağlamaktadır. Sayısal giriş genişleme kartı optik yalıtımla algılayıcı ve buton gibi elemanlardan gelen 0–24V sayısal işaretleri 0–5V sayısal işarete dönüştürmektedir.

Sayısal çıkış genişleme kartı ise veri toplama kartından gelen 0–5V seviyedeki çıkış işaretlerini üzerinde bulunan iki durumlu (normalde açık ve normalde kapalı) kontaklara sahip röleler ile yalıtılmaktadır. Röle kontaklarının normalde açık veya kapalı kontakları kullanılarak istenilen devre elemanı dereye alınıp çıkarılabilmektedir. Analog G/Ç genişleme kartı ise sadece filtre ve koruma

elemanlarını monte edilebilmek için bir karta sahiptir ve elektriksel yalıtım imkânı bulunmamaktadır. Veri toplama kartına doğrudan analog giriş ve çıkış yapmaktaki bu sakınca ilave donanımlarla aşılmaya çalışılmıştır.



Şekil 5.3. (a) Analog G/Ç (b) Sayısal giriş (c) Sayısal çıkış genişleme kartları

Analog çıkış yalıtım birimi: Analog çıkışları korumak için toplam üç adet Phoenix Contact firmasının 'MCR-C-UI-UI_DCI' model yalıtım birimi kullanılmıştır (Şekil 5.4). Veri toplama kartlarının analog çıkışları genellikle düşük gerilimler ($\leq 50V$) için korunduğundan olası yüksek gerilimlere karşı korumasız kalabilmektedir. Yalıtım birimleri analog çıkışları olası yüksek gerilimlere karşı korumak amacıyla kullanılmaktadır.



Şekil 5.4. Analog çıkış yalıtım birimi

Testere motoru, ilerleme motoru ve soğutma suyu pompa motoru sürücülerini kontrol etmek için kullanılan analog çıkışlarda elektriksel yalıtım düzeneği yoktur. Yalıtım birimleri, analog çıkış ile sürücü analog girişleri arasında elektriksel yalıtım sağlamaktadır. Yalıtım birimlerinin G/Ç ve beslemeleri birbirinden elektriksel olarak yalıtılmıştır.

Akım ve gerilim dönüştürücüleri: Testere motorunun şebekeden çektiği gücü belirlemek için motorun akım ve geriliminin ölçülmesi gerekmektedir. Ancak motor üç fazlı şebeke gerilimi ile beslendiğinden bu gerilim seviyesinin veri toplama kartı ile doğrudan ölçülmesi mümkün değildir. Bu gibi yüksek akım ve gerilimleri veri toplama sistemleriyle ölçmek için elektriksel yalıtım da sağlayan akım ve gerilim trafoları kullanılsa da hassasiyetleri oldukça azdır. Bu nedenle günümüzde hassas ölçümler için geliştirilmiş akım ve gerilim dönüştürler kullanılmaktadır.



Şekil 5.5. Akım dönüştürücü

Akım dönüştürücü Fluke firmasının '80i 110s' model ürünüdür (Şekil 5.5). Akım ölçme birimi 10mV/A (ölçülen her 1 amper için 10mV gerilim üretilir) veya 100mV/A (ölçülen her 1 amper için 100mV gerilim üretilir) kademelerine sahiptir. Deney düzeneğinde akım ölçme biriminin 100mV/A kademesi kullanılmıştır.



Şekil 5.6. Gerilim dönüştürücü

Gerilim dönüştürücü Pintek firmasının 'DP-25' model ürünüdür (Şekil 5.6). Gerilim ölçme birimi x20, x50 ve x200 kademelerine sahiptir ve deney düzeneğinde x200 kademesi kullanılmıştır.

5.4.1.3. Seçilen yazılım

Endüstriyel ve akademik çalışmalarda makine ile bilgisayar arasındaki iletişimi, veri toplama ve kontrolünü sağlayan arayüzleri tasarlamak için metin veya grafik tabanlı çok çeşitli yazılımlar bulunmaktadır. Metin tabanlı yazılımlarda bilinmesi gereken söz dizilimi (*syntax*) kuralları grafik tabanlı yazılımlarda yoktur ve dolayısıyla bu yazılımların kullanımı ve öğrenmesi daha kolaydır. Deney düzeneğinde kullanılan arayüzün tasarımı grafik tabanlı programlama dili (*G programming language*) ‘LabVIEW 2009’ (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) ile gerçekleştirilmiştir.

LabVIEW ilk olarak yetmişli yılların ortalarında veri toplama alanında ürünler üretmeye başlayan NI firmasının bir ürünüdür. Firma, doksanlı yıllardan itibaren günümüz grafik tabanlı yazılımı olan LabVIEW programlama dilinin geliştirilmesinde ilk adımları atmıştır. Bugün LabVIEW 10 programlama dili sürümündedir.

Ölçme ve otomasyon odaklı olarak geliştirilen LabVIEW bugün bir yazılım üretme platformu olarak diğer yapısal ve nesne tabanlı programlama dillerinin neredeyse her yeteneğine sahiptir. Hali hazırda sunulmuş modüler yapıdaki birçok fonksiyonu ve Express VI (*virtual instrument*) blokları ile programlama sürecini şaşırtıcı derecede basitleştirir ve hızlandırır. NI firması tarafından üretilmiş ve LabVIEW ile bütünleşmiş çalışabilen çeşitli donanımlar birçok mühendislik uygulamalarında veri toplama, analizi ve sunumu aşamalarında çok hassas ölçümler yapmayı sağlar. Ayrıca birçok donanım üreticisi de LabVIEW sürücülerini ürünle birlikte vermektedir.

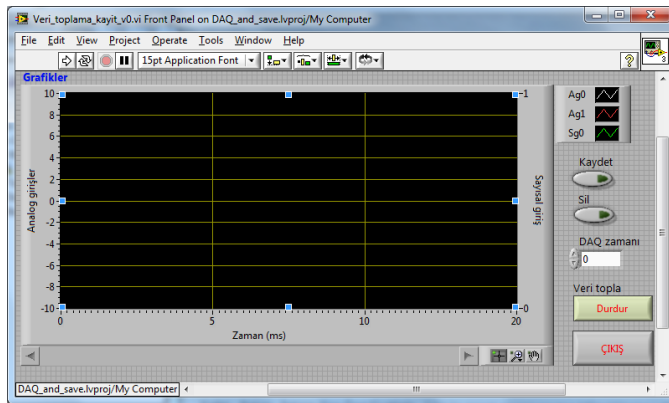
LabVIEW grafiksel programlama dili (*graphical programming language-GPL*) teknolojisi ile programlamada yeni bir dönemi başlatmıştır. GPL metin tabanlı kodlama yerine tamamen sembolleştirilmiş komut setine sahiptir. Dolayısı ile komut ezberleme zorluğunu ortadan kaldırmıştır. Programcı paletlerden ihtiyaç olan fonksiyonları alarak bir akış şeması oluşturur gibi yazılım üretebilmektedir; hatta Express VI bloklarıyla sadece girişleri ve çıkışları bağlamak suretiyle onlarca

programı dakikalar içerisinde üretebilir. Böyle bir işlem, diğer programlama dilleri ile günlerce sürebilir.

Yurtdışında, üniversitelerde lisansüstü bilimsel çalışmalarda yaygın olarak kullanılmakla birlikte lisans seviyesinde de özellikle veri akışı yapısından dolayı programlamaya giriş ve algoritma derslerinde LabVIEW tercih edilmektedir. LabVIEW uzun bir gelişim süreci olmasına karşın Türkiye’de yaygınlaşmamış olup, 2000’li yılların başından itibaren üniversitelerimiz müfredat programlarına girmeye başlamıştır [54].

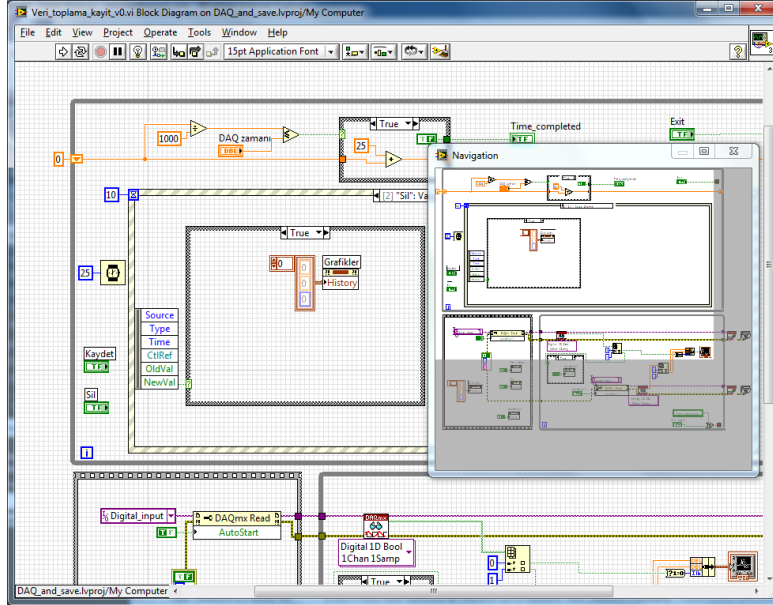
LabVIEW programında her bir fonksiyon veya yordam VI olarak tanımlanan ve ön panel (*front panel*), blok diyagram (*block diagram*) ve bağlantı penceresi (*connector pane*) olmak üzere üç ana bileşenden oluşan bir programda saklanır. Ön paneller çeşitli görsel ölçme ve kontrol bileşenlerini içeren kullanıcı ara yüzleri olarak tanımlanabilmektedir. Blok diyagramlar ise yürütülecek olan fonksiyonların grafiksel olarak tanımlandığı pencerelerdir. Aşağıda VI bileşenlerinden ön panel ve blok diyagramlar ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

Ön paneller: LabVIEW programında uygulama geliştirmek için ilk olarak kullanıcı arayüzü olarak da tanımlayabileceğimiz ön paneller, kontrol panelinden seçilen sayısal göstergeler, ölçekler, metreler, termometreler, LED’ler, çizelgeler, grafikler gibi bileşenler yerleştirilerek oluşturulur. Aşağıda örnek olarak çeşitli bileşenlerden oluşturulmuş bir ön panel verilmiştir (Şekil 5.7). Kullanıcı buradaki bileşenlerle hazırlanan programı kontrol edebilmektedir.



Şekil 5.7. Örnek bir VI ön paneli

Blok diyagramlar: Oluşturulmuş ön paneldeki bileşenler ile grafiksel programlama yapmak için blok diyagram penceresine fonksiyon paletinden nesnelere seçilerek istenilen program oluşturulur. Aşağıda özel pek çok fonksiyonu yerine getirmek için oluşturulmuş bir blok diyagram (grafiksel program) verilmiştir (Şekil 5.8).



Şekil 5.8. Örnek bir VI blok diyagramı

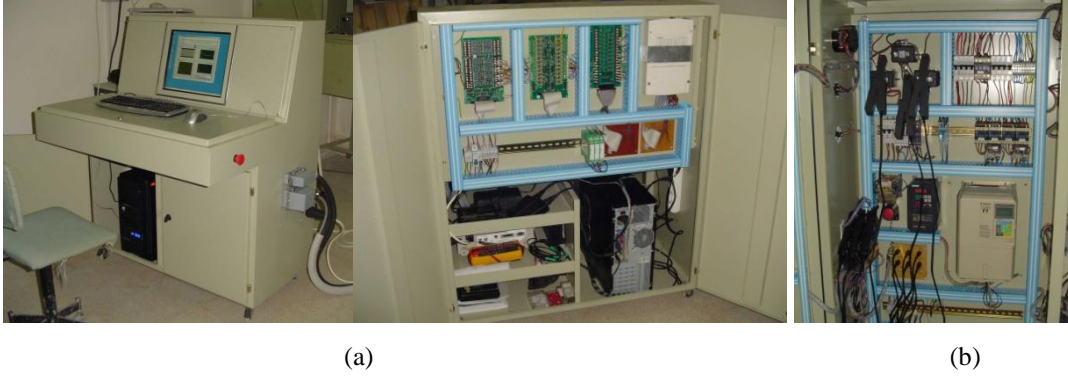
5.4.2. Sistemin Kurulumu

Burada deney düzeneğinin veri toplama sistemi ayrıntılı olarak verilecektir. Tasarlanan veri toplama sistemi donanım ve arayüz olarak iki başlık altında incelenecektir.

5.4.2.1. Donanım altyapısı

Deney düzeneği için seçilen donanımlar endüstriyel bir panele monte edilmiştir. Veri toplama kartı, genişleme kartları, yalıtım birimleri, bilgisayar, güç kaynakları gibi bütün birimler bu panel içine yerleştirilmiştir. Veri toplama paneli taşınabilir olduğundan makinenin kontrol paneliyle arasında kablolarla bağlantı sağlanmıştır (Şekil 5.9). Deney düzeneğinin tüm kontrolü arayüz ile yapıldığından kontrol paneli ve veri toplama paneli üzerinde herhangi bir kontrol butonu yoktur. Ancak acil

durumlar için veri toplama ve kontrol paneli üzerinde acil durdurma butonları mevcuttur.



Şekil 5.9. (a)Veri toplama paneli görünümü (b) Kontrol paneli görünümü

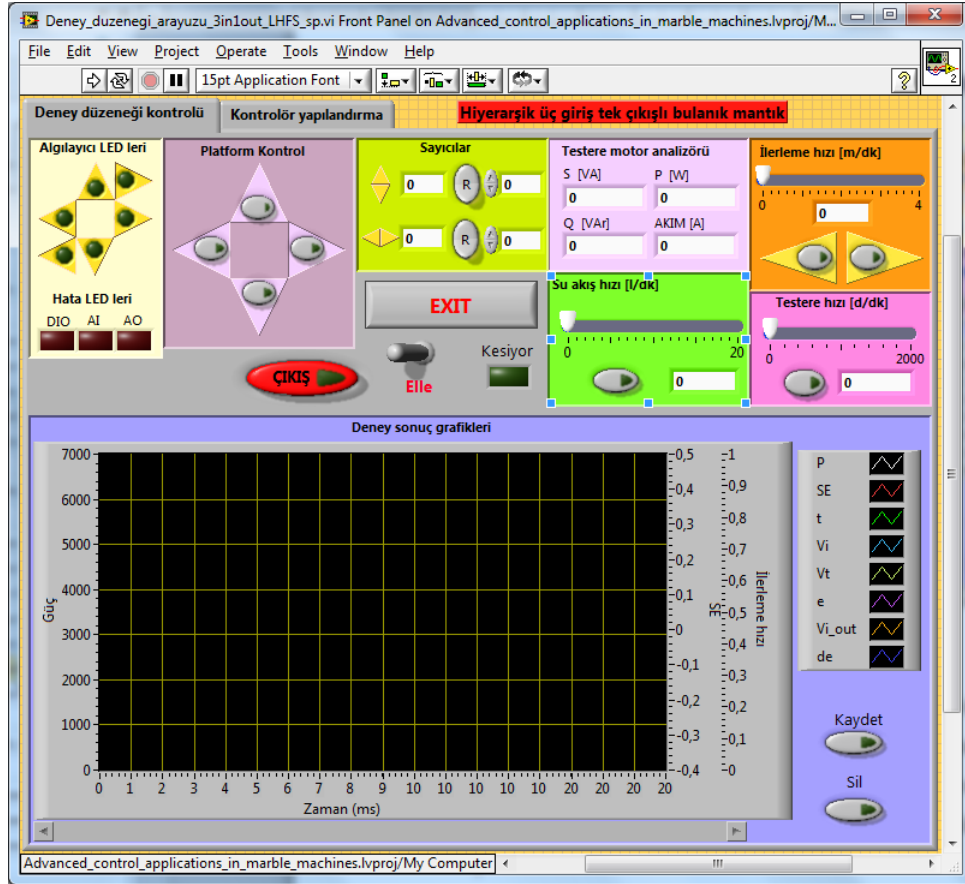
5.4.2.2. Yazılım altyapısı

Deney düzeneğinin kontrolü ve verilerinin toplanıp kaydedilmesi gibi tüm fonksiyonlar tasarlanan arayüzle gerçekleştirilmektedir. Arayüz, çok sayıda fonksiyonu yerine getirdiğinden iki sekmeden oluşturulmuştur (Şekil 5.10). Arayüzün birinci sekmesinde deney düzeneğinin kontrolünü ve toplanan verilerin gözlenmesini sağlayan bileşenler bulunmaktadır. İkinci sekmede ise kontrolör parametrelerinin girildiği bileşenler bulunmaktadır. Kontrolör yapılandırma sekmesinin içeriği ve yapısı aşağıda ayrıntılı olarak verilmektedir.

Arayüz, deney düzeneğinde başlıca dört temel fonksiyonu yerine getirmektedir. Bu fonksiyonlar; testere platformunun konumlandırılması, makine parametrelerinden testere, ilerleme ve su akış hızlarının kontrolü, kontrolörlerin çalıştırılması ve deney verilerinin toplanıp kaydedilmesi şeklinde sıralanabilmektedir.

Testere platformunun konumlandırılma işlemi yarı otomatik işleyen bir süreçtir. Platform istenirse yukarı-aşağı ve öne-arkaya (platform kontrol kısmındaki) butonlarıyla elle konumlandırılabilir. Yarı otomatik çalışmada ise platform yukarı veya aşağı pozisyonda hareket ederken sayıcı ile kat edilen mesafe ölçülmekte ve mesafe “sayıcılar” kısmına yazılan değere eşit olduğunda platformun hareketi

durdurulabilmektedir. Bu özellik kesme deneyleri sonunda dilim kalınlığının ayarlanmasında oldukça faydalı olmaktadır.

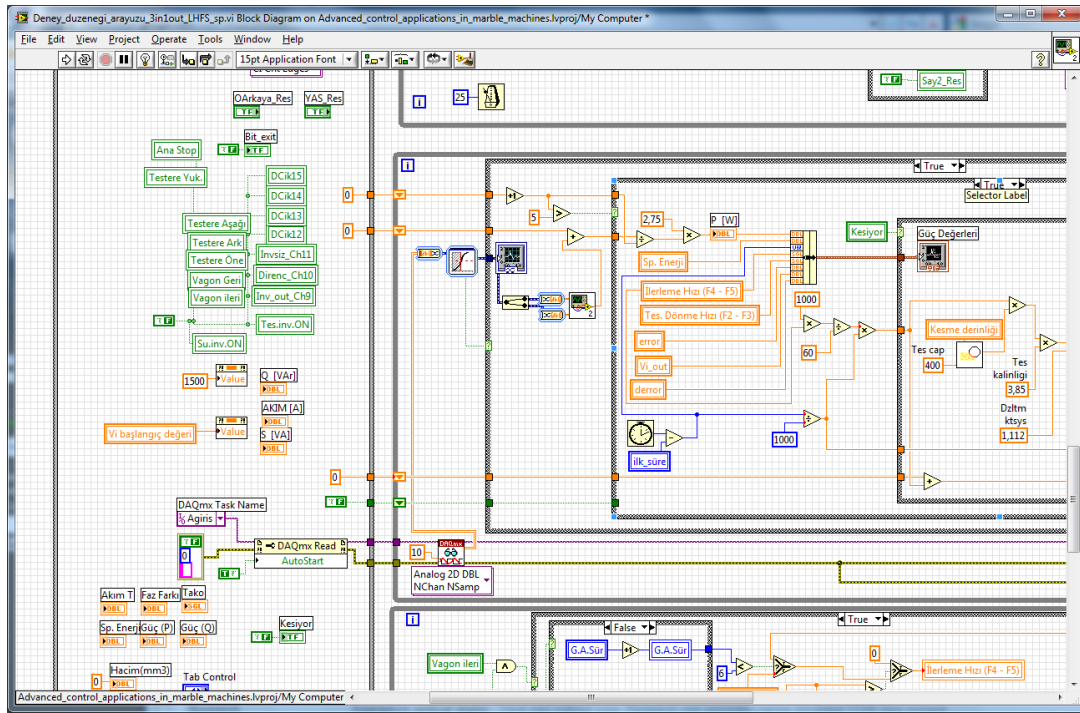


Şekil 5.10. Deney düzeneği arayüzüne ait kontrol paneli

İlerleme, testere dönüş ve su akış hızları makineye ait parametrelerdir. Bu parametrelerin her birinin kontrolü için arayüz üzerinde ayar düğmeleri bulunmaktadır. Testere dönüş hızı 0–2000d/dk arasında, ilerleme hızı 0–4m/dk arasında ve su akış hızı 0–20l/dk arasında ayarlanabilmektedir. Hız değeri ayarlandıktan sonra ayar düğmesi altında bulunan butona tıklanarak ilgili motor ayarlanan hızda çalıştırılabilmektedir.

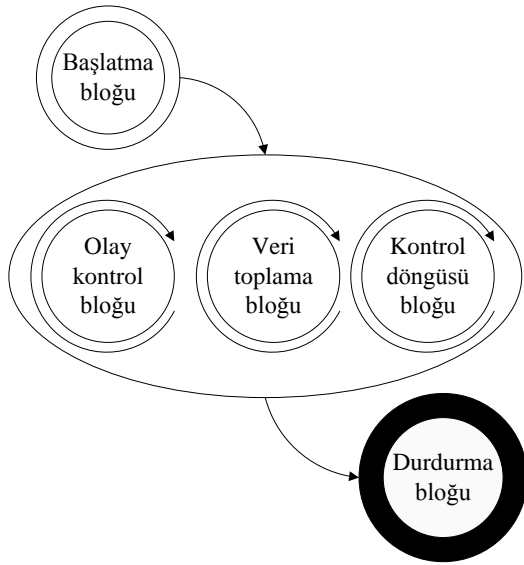
Kontrolörler arayüz içine gömülü bir döngüde işletilmektedir. Kontrolörler arayüz tarafından 150ms zaman gecikmesiyle yürütülür. Kontrol döngüsü ve kontrolörlerin yapıları, çalışma şekilleri ve yapılandırma işlemleriyle ilgili bilgiler dördüncü ve beşinci bölümlerde ayrıntılı olarak verilmektedir.

Deney verilerinin toplanmasında ilk aşama, analog girişlerden elde edilen akım ve gerilim verileriyle testere motoru gücünün hesaplanmasıdır. Ardından güç değerinden hareketle özgül enerji hesaplanır. Bu iki değer ve diğer makine ve kontrolör verileri grafik penceresinde deney sırasında görüntülenir. Deney sonunda bu veriler kaydetme veya silme butonları yardımıyla bir hesap çizelgesi dosyasına (*spreadsheet file*) kaydedilebilir veya deney başarısız olmuşsa silinebilir.



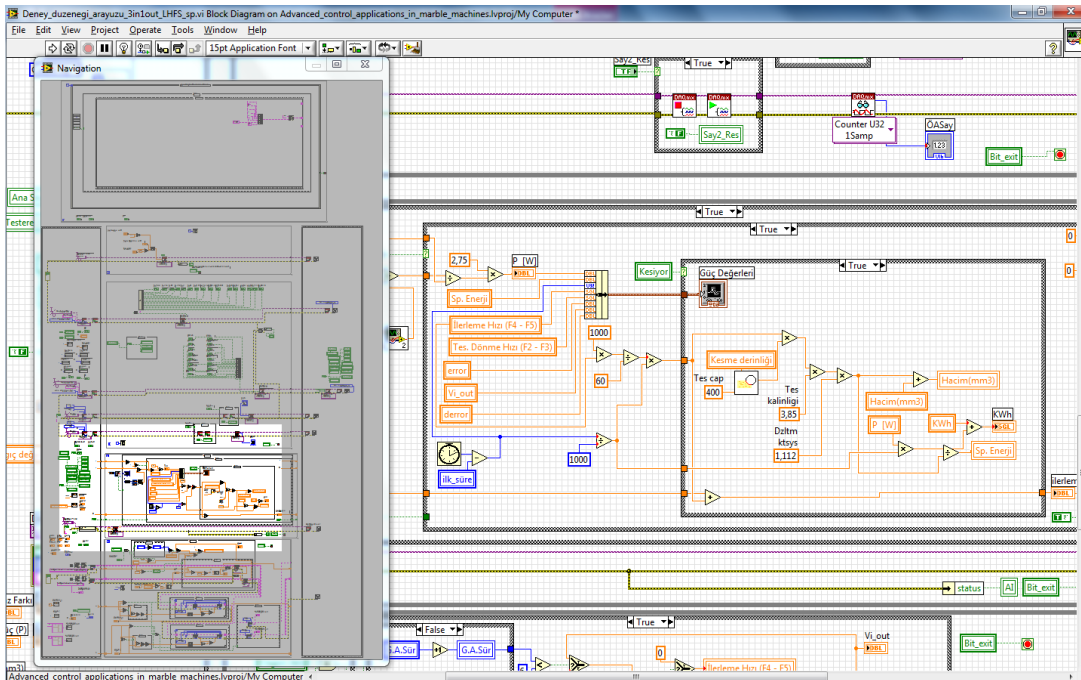
Şekil 5.11. Deney düzeneği arayüzüne ait blok diyagramından bir kesit

Bu dört fonksiyonu yerine getirmek için tasarlanan blok diyagram aşağıda verilmektedir (Şekil 5.11). Arayüz blok diyagramı oldukça büyük olduğundan şekilde verilen, blok diyagramının sadece küçük bir kesitidir. Arayüzün çalışma mantığının anlaşılabilmesi için aşağıda verilen akış şeması incelenmelidir (Şekil 5.12). Görüldüğü gibi program başlatma bloğu, veri toplama ve kontrol gibi fonksiyon bloklarının bulunduğu ana blok ve durdurma bloğu olmak üzere üç ana bloktan oluşur.



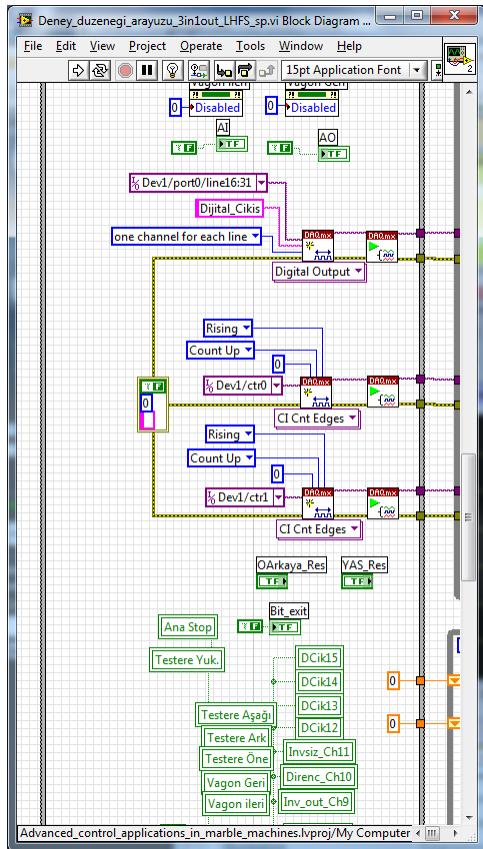
Şekil 5.12. Arayüz algoritmasına ilişkin akış şeması

Blok diyagrama dolaşma (*navigation*) ekranından bakıldığında bu üç bölüm kolayca görülebilir (Şekil 5.13). Başlatma bloğu metin tabanlı programlardaki yapılandırma bölümüne karşılık gelirken, ana blok programın işlediği ana ve alt yordamlara ve durdurma bloğu bir sonlandırma yordamına karşılık gelmektedir.



Şekil 5.13. Arayüz blok diyagramının genel görünümü

Başlangıç bloğu, arayüz ilk kez çalıştırıldığında bir kere yürütülür (Şekil 5.14). Görevi kullanılan değişken ve özel fonksiyonların ilk değerlerini yüklemektir. Örneğin arayüzdeki ilerleme hızı ayar düğmesi belirli bir değerde kalmış ya da testere çalıştırma butonu açık konumda takılı kalmış olabilir. Eğer başlangıç bloğunda bu bileşenlerin ilk değerleri yüklenmezse deney düzeneğinin ilk çalıştırılması sırasında istenmeyen durumlar ortaya çıkabilir.

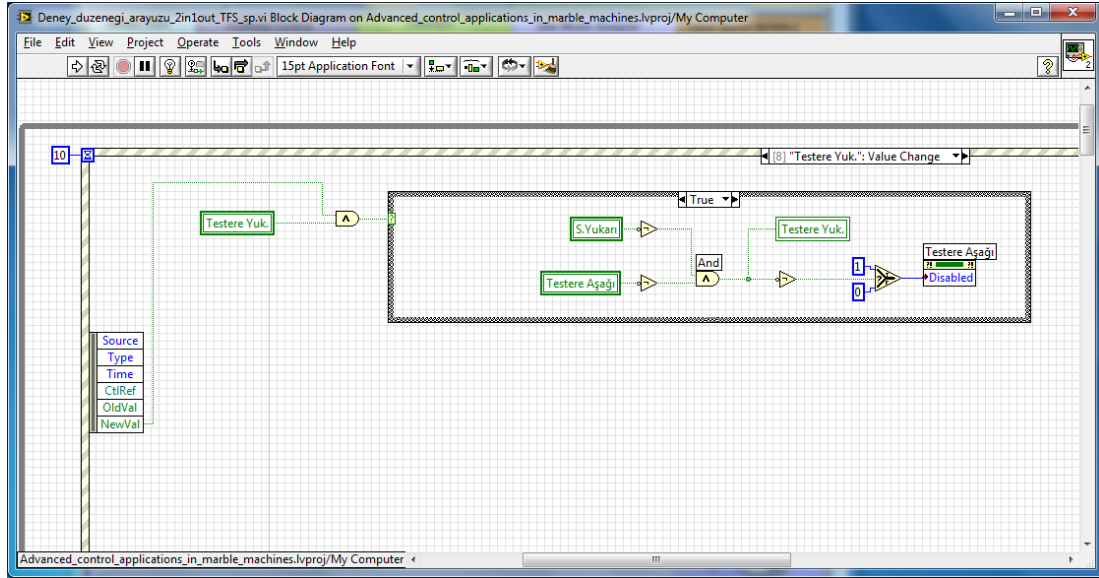


Şekil 5.14. Program kodu başlangıç bloğu

Sonlandırma bloğu arayüz program durdurulurken bir sefer işletilir. Bu bloğun görevi kullanılan değişken ve özel fonksiyonların son değerlerini yüklemektir. Örneğin analog giriş okuma veya sayısal giriş okuma fonksiyon blokları özel bir sonlandırma fonksiyonu kullanırlar ve bu işlem sonlandırma bloğunda yapılır.

Arayüzün ana bloğunda olay kontrol, veri toplama ve kontrol döngüsü bloğu olmak üzere üç temel fonksiyon bloğu bulunmaktadır (Şekil 5.12). Olay kontrol bloğunda arayüz üzerindeki buton veya ayar düğmesi gibi bileşenlere kullanıcı tarafından

yapılan tıklama veya değer değiştirme gibi olaylar kontrol edilerek gerekli işlemler yurütulür. Veri toplama bloğunda deney düzeneği ile bilgisayar arasında veri toplama kartı ile geręekleřtirilecek okuma ve yazma işlemleri yurütulür. Kontrol döngüsü bloğunda ise kontrol döngüsü ve kontrolörle ilgili işlemler yurütulür.



şekil 5.15. Arayüz blok diyagramında olay bloğunun görünüümü

Görsel programlama dillerinde nesnelere yapılan tıklama, çift tıklama, değer değiştirme, boyut değiştirme gibi işlemler olay (*event*) olarak tanımlanır. Tanımlanan olay meydana geldiğinde hazırlanan yordam yurütülerek istenen fonksiyon geręekleřtirilir. LabVIEW programlama dilinde de olay tanımlanabilmektedir. Arayüz üzerinde bulunan butonlar için değer değiştirme (*value change*) olayı tanımlanmıştır. Bu olaylar kullanıcı tarafından bir butona tıklama yapılması durumunda butonun sayısal değerinin değişmesi sonucu oluşur. Tanımlanan olaylar sonsuz bir döngü içinde program durdurana kadar işletilir. Yukarıda olay bloğunun VI blok diyagramı üzerindeki görünüümü verilmektedir (şekil 5.15).

Veri toplama bloğunda, analog giriş, analog çıkış, sayısal G/Ç ve sayıcı işlemleri yerine getirilmektedir. Aşağıda geręekleřtirilen veri toplama işlemleri ayrıntılarıyla verilmektedir.

Analog giriş işlemi: Veri toplama sisteminde testere motoru akım ve gerilimi olmak üzere iki analog giriş bulunmaktadır. Testere motoru dengeli bir yük olduğundan sadece bir fazının gücünün belirlenmesi yeterli olmaktadır. Testere motorunun gücü bir faz gücünün üçle çarpılmasıyla belirlenebilmektedir. Akım ve gerilime ait analog girişler 10kHz hız ile örneklenmektedir. Bu örnekleme hızı 50Hz frekanslı şebeke gerilimi için bir devir (*period*) başına 200 örnek anlamına gelmektedir. Akım ve gerilim için elde edilen toplam 400 örnekten denklem (5.1) kullanılarak motor güç değeri elde edilir.

$$P = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N V[k] \cdot I[k] \quad (5.1)$$

Burada N , $V[k] \cdot I[k]$ çarpım sonucunun pozitif işaretli olanlarının toplam sayısıdır. $V[k] \cdot I[k]$ çarpım sonuçlarının negatif işaretlilerinin toplamı reaktif gücü verdiği için negatif işaretliler işleme alınmamaktadır. Güç hesaplama işlemi kurulan bir alt VI ile gerçekleştirilmektedir ve yaklaşık her 20ms zaman diliminde (bu zaman dilimi veri toplama donanımından bir devirlik giriş işaretinin elde edilme süresidir ve veri toplama kartıyla işletim sistemine bağlı olarak küçük sapmalar gösterebilmektedir) güç değeri hesaplanmaktadır. Ancak bu zaman dilimi deney düzeneğinin cevap süresinden oldukça küçüktür. Bu nedenle sürekli ortalama yöntemiyle ardı ardına beş ölçümün ortalaması alınmak suretiyle güç değerinin güncellenme süresi yaklaşık 100ms değerine çıkarılmıştır.

Analog çıkış işlemi: Deney düzeneğinde analog çıkışla kontrol edilen testere dönüş, ilerleme ve su akış hızı olmak üzere toplam üç parametre bulunmaktadır. Üç analog çıkış 50ms zaman gecikmesine sahip sonsuz bir döngüde işletilmektedir. Bu döngü arayüz çalıştırıldıktan ve başlatma bloğu işletildikten sonra çalışmaya başlar ve istenilen hıza karşılık gelen gerilim değerini üretir. Söz konusu üç parametre sürücülerle kontrol edildiğinden analog çıkışlar 0–10V aralığında çıkış verirler. Ancak testere dönüş hızı ayar düğmesi 0–2000d/dk değişim aralığındadır. LabVIEW programında bu tip durumlar için kullanılmak üzere ölçekleme özelliği bulunmaktadır. Ölçekleme özelliği sayesinde 0–2000d/dk dönüş hızı değişimine karşılık gelecek olan 0–10V gerilim değişimi doğrusal karakteristikte tanımlanmıştır.

Sayısal giriş-çıkış ve sayıcı işlemleri: Sayısal giriş okuma, sayısal çıkış üretme ve sayıcı işlemleri tasarlanan arayüzde 25ms zaman gecikmesiyle çalışan sonsuz döngü içinde gerçekleştirilmiştir. Sayısal girişler deney düzeneğinde yaklaşım algılayıcıları (platform ve vagon hareketinin son sınırlarını algılamak amacıyla kullanılan metale duyarlı temassız algılayıcılardır) ve özel rölelerin (faz sırası, faz dengesizliği, acil durdurma gibi özel rölelerdir) durumlarını okumak amacıyla kullanılmıştır. Sayısal çıkışlar ise kullanılan motorların başlatma-durdurma, ileri-geri yönde başlatma-durdurma gibi işlemler kontrol etmek için kullanılmıştır. Sayıcılar platformun konumlandırılması sırasında yukarı-aşağı ve öne-arkaya hareketini ölçmek amacıyla kullanılmıştır. Sayıcılar yukarı-aşağı ve öne-arkaya motorlarının miline bağlı metal pervanenin kanatlarını gören yaklaşım algılayıcılarından gelen sayısal işaretteki tepeleri saymaktadır. Pervanedeki her bir kanatçık 1mm mesafeye ayar edildiğinden sayılan her bir kanat platformun 1mm hareketini göstermektedir.

Kontrol döngüsü bloğunda dördüncü bölümde ayrıntıları verilen kapalı çevrim kontrol sistemleri çalıştırılmaktadır. Kontrol döngüsü 150ms zaman gecikmesiyle çalışan sonsuz bir döngü içinde tanımlanmıştır. Tez kapsamında test edilen kontrolörler kontrol döngüsü içinde yer almaktadır. Bir arayüzde tüm kontrolörleri tanımlamak verimli olmayacağından ve arayüzün yapısının karmaşık hale gelmesine neden olacağından, her bir kontrolör için ayrı arayüzler tasarlanmıştır. Kontrol döngüsü sonsuz bir döngü olmakla birlikte, kontrolör testere motoru gücünün 2500W değerinin üstüne çıkması durumunda devreye girecek şekilde düzenlenmiştir.

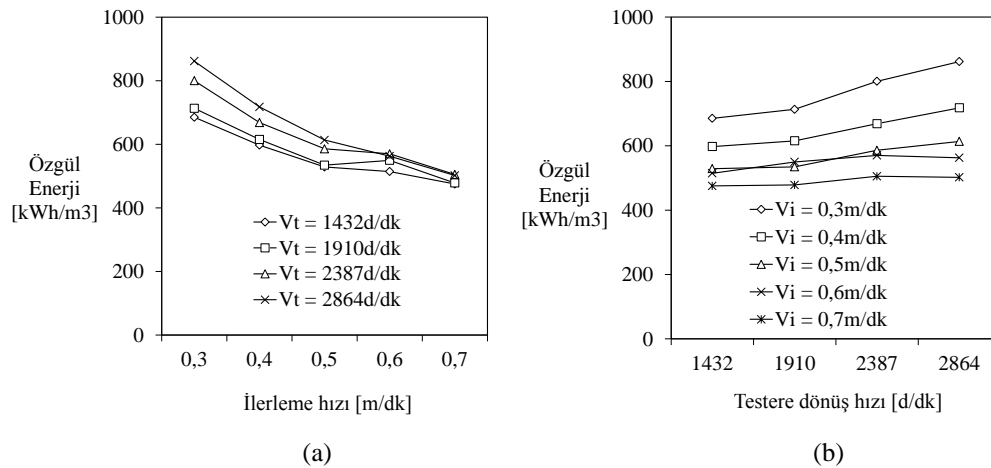
5.5. Kontrol Sisteminin Tasarımı

Dairesel testereli kesme süreci, kesilen kayaca ve makineye ait pek çok parametrenin bulunması sebebiyle oldukça karmaşık bir süreçtir. Sürecin makineye ait özellikleri modellenenirse de kayaca ait özelliklerin tam olarak modellenmesi oldukça zordur. Kesme sürecinde kullanılan kayaçlar belirli testlere tabii tutularak mineralojik ve mekanik temel özellikleri belirlenebilmektedir [1, 4, 31]. Ancak kayaçlar homojen malzemeler olmadığından söz konusu testlerde kullanılan numuneler kayacın karakteristiğini tanımlamakta yeterli olamamaktadır. Örneğin kesilen kayacın içerisinde belirli bir bölgede çatlaklar, boşluklar, farklı sertlikte bölgeler

görülebilmektedir. Bu ise kesme sürecinde hiç beklenilmeyen bozucu etkilere neden olmaktadır.

Makineye ait parametreler ilerleme hızı (V_i), testere dönüş hızı (V_t), su akış hızı (V_s), kesme derinliği (d), testere kalınlığı (a), testeredeki soketlerin sayısı, soketlerin geometrik şekli ve mekanik özellikleri şeklinde sıralanabilir. Bu parametrelerinin kesme sürecinde önemli etkileri olmakla birlikte kontrol yöntemleriyle denetlenebilecek parametreler ilerleme, testere dönüş ve su akış hızıdır. Kesme bölgesinde oluşan talaşların atılma hızını düzenleyen su akış hızının etkisini gözlemek üzere yapılmış yeterli çalışma bulunmamakla birlikte ilerleme ve testere dönüş hızlarının kesme sürecindeki etkilerini ortaya koyan yeterli sayıda çalışma bulunmaktadır [2–4, 7, 10].

Yapılan çalışmalarda ilerleme ve testere dönüş hızlarının birim hacim başına tüketilen enerji olarak tanımlanan özgül enerjiye (*specific energy*) etkileri incelenmiştir. Özgül enerji kesme sürecinde gerekli enerjinin ve gücün belirlenmesinde oldukça yararlı bir parametredir [4, 47]. Tasarlanan kontrol sisteminde özgül enerji kontrol edilen değişken, ilerleme ve testere dönüş hızları ise kontrol değişkeni olarak belirlenmiştir.



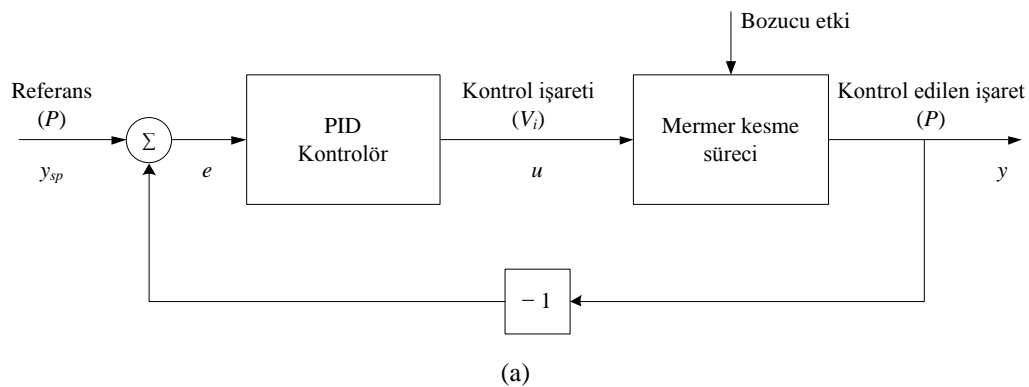
Şekil 5.16. (a) İlerleme hızı- özgül enerji (b) testere dönüş hızı-özgül enerji ilişkisi

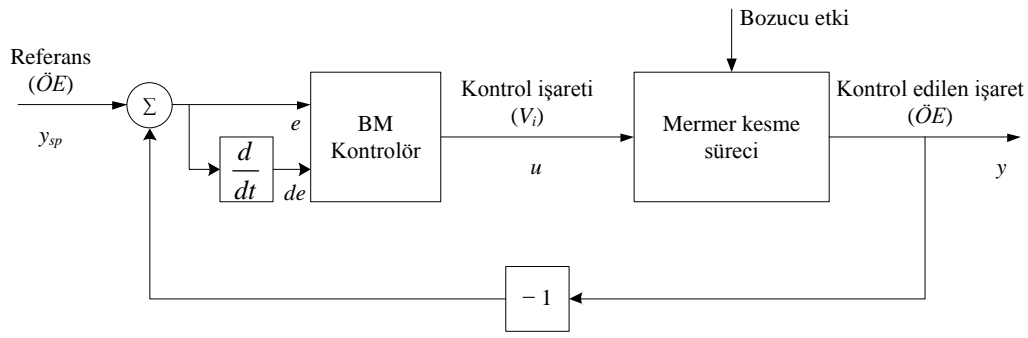
Mermer kesme süreci matematiksel olarak modellenemediğinden kontrol sisteminin tasarımında analiz yöntemi kullanılmıştır. Kontrol sisteminin tasarımında sürecin

davranışını belirlemek amacıyla deney düzeneği ile daha önceden yapılmış deney sonuçlarından faydalanılmıştır. Öncelikle ilerleme ve testere hızlarıyla özgül enerji arasındaki ilişki ortaya konulmuştur. İlerleme hızının artan değerleri özgül enerjiyi azaltırken, testere dönüş hızı artırmaktadır [1, 3, 4, 7, 26, 43]. Yukarıda verilen grafiklerden mermer kesme sürecinde ilerleme hızının testere dönüş hızından daha etkili olduğu görülmektedir (Şekil 5.16).

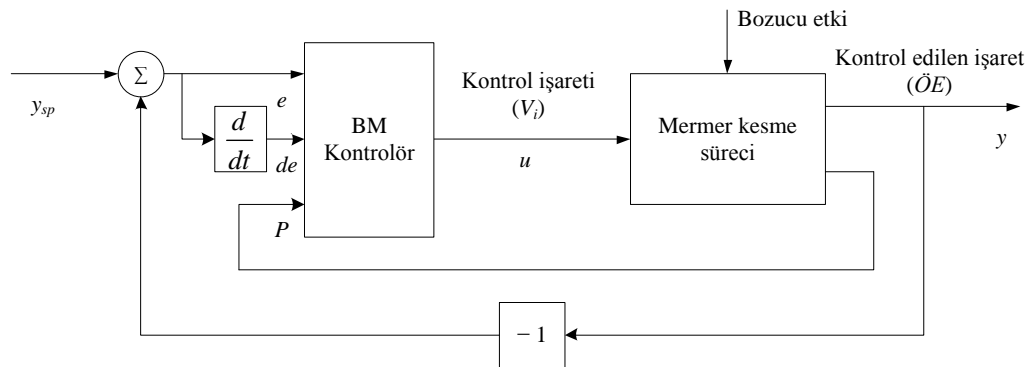
İlk olarak ilerleme hızı kesme sürecinde daha etkili olduğundan tek kontrol işaretli bir kontrol sistemi tasarlanmıştır. Ancak ilerleme hızıyla orantılı olarak kesme bölgesinde oluşan talaş miktarı değişiklik göstermektedir. Ayrıca ilerleme hızının artan değerleri için testerenin kayaca uyguladığı kuvvet artmakta ve bu durum testerenin sıkışmasına dahi neden olabilmektedir. Kesme bölgesinden talaş atımını rahatlatabilmek ve testerenin sıkışmasını önleyebilmek için ilerleme hızının yanında testere dönüş hızının da kontrol edilmesi gerekmektedir. Eğer ilerleme ve testere dönüş hızları kontrol edilirken aralarındaki oran da kesim boyunca sabit tutulabilirse kesme verimi artış gösterebilmektedir. Bu gerekçelere göre kesme süreci için iki kontrol çıkışlı bir kontrol sistemi daha tasarlanmıştır.

Yukarıda ilerleme ve testere dönüş hızlarını kontrol etmek için tasarlanmış kontrol sistemleri görülmektedir (Şekil 5.17). PID kontrolör sadece aktif güç geri beslemesiyle işletilebildiğinden bu kontrolöre özel kontrol sistemi tasarlanmıştır (Şekil 5.17-a). Sadece ilerleme hızının düzenlendiği BM kontrolörler için iki ve üç girişli yapı için iki farklı kontrol sistemi tasarlanmıştır (Şekil 5.17-b ve c). Ayrıca ilerleme ve testere dönüş hızlarının düzenlendiği üç girişli BM kontrolör için de özel bir kontrol sistemi tasarlanmıştır (Şekil 5.17-d).

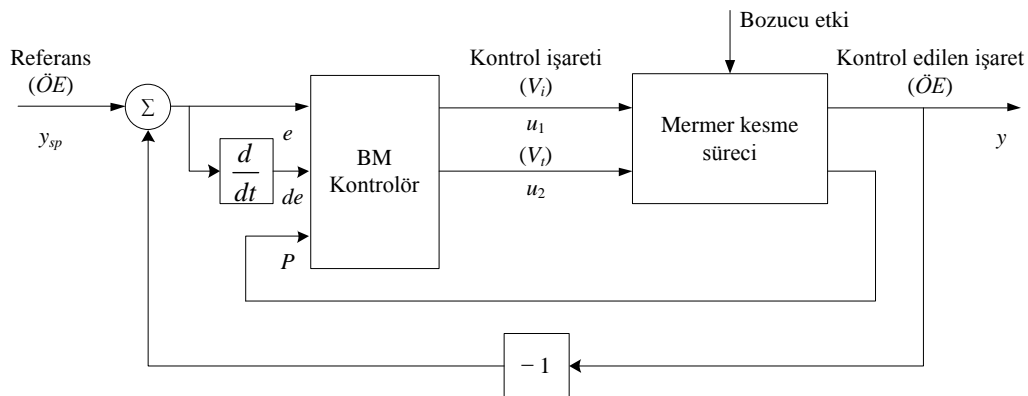




(b)



(c)



(d)

Şekil 5.17. (a) 1G1Ç PID kontrolörlü (b) 2G1Ç BM kontrolörlü (c) 3G1Ç BM kontrolörlü (d) 3G2Ç BM kontrolörlü kontrol sistemleri

5.6. Kontrolörlerin Tasarımı

Tez kapsamında deney düzeneğine PID ve BM kontrol yöntemleri ile tasarlanmış dört tip kontrolör uygulanmıştır. Kontrolörler temelde, yalnız ilerleme hızının ve ilerleme hızıyla testere dönüş hızının birlikte kontrol edildiği iki gruba ayrılmaktadır. Sadece ilerleme hızının kontrol edildiği ilk grupta PID, iki girişli ve üç girişli BM olmak üzere üç kontrolör bulunmaktadır. İlerleme ve testere dönüş hızlarının birlikte

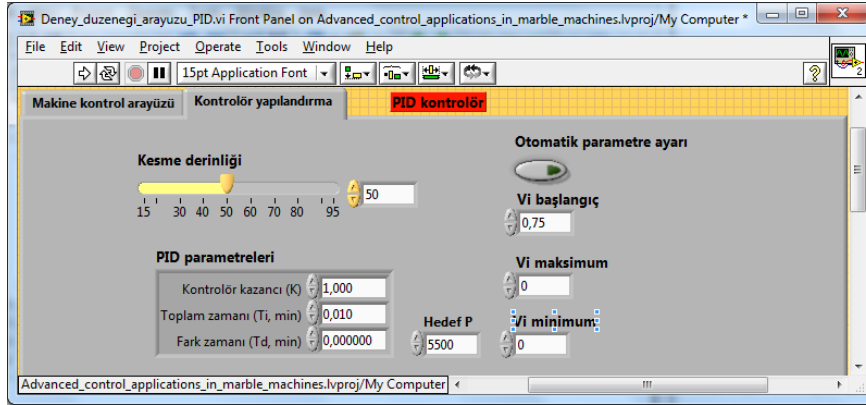
kontrol edildiği ikinci grupta ise üç girişli BM kontrolör bulunmaktadır. Tasarlanan kontrolörler; PID, tek giriş tek çıkış (TGTC) (*single input single output SISO*) ve BM kontrolörlerin ikisi çok giriş tek çıkış (ÇGTC) (*multi input single output MIMO*) biri çok giriş tek çıkış (ÇGÇÇ) (*multi input multi output MISO*) formundadır.

Deney düzeneğinin kontrolü için tasarlanan arayüz içine gömülen kontrolörlerin tamamı “*LabVIEW PID Control Toolkit*” paket yazılımını kullanarak gerçekleştirilmiştir. “*LabVIEW PID Control Toolkit*”, NI firmasının PID ve BM kontrolör tasarlamak için geliştirdiği özel bir yazılımdır ve kontrolör tasarımı oldukça basitleştirmektedir. Tez kapsamında tasarlanan kontrolörlerin tamamını tek bir arayüze gömmek yerine karışıklığa neden olmaması için bir proje dosyasına her bir kontrolör için özel arayüz yapılması yoluna gidilmiştir. Aşağıda kontrolörlerin tasarım bilgileri ve her bir arayüzün yapısı hakkında bilgi verilmektedir.

5.6.1. PID kontrolör

PID kontrolörde süreç değişkeni (y) testere motoru aktif güç değeridir. Hedef veya referans değer (y_{sp}) testere motorunun etiket (*nominal*) gücüdür. Kontrol değerkeni ise (u) ilerleme hızıdır. Aşağıda tasarlanan PID kontrolörlü arayüze ait kontrolör yapılandırma ekranı görölmektedir (şekil 5.18).

Yapılandırma ekranındaki “Hedef P” bileşeniyle süreç değerkeninin referans değer belirlenir. “ V_i maksimum” ve “ V_i minimum” bileşenleri kontrol değerkeninin sınır (doyma) değerlerini belirlemektedir. “ V_i başlangıç” bileşeni kesme deneyinin hangi ilerleme hızıyla başlayacağını belirleyen bir parametredir. Kesme derinliği bu çalışmada sabit seçilen kesme parametrelerinden olmakla birlikte istenildiğinde “Kesme derinliği” bileşeni değerştirilerek ilerleme hızının sınır değerleri yeni derinlik değerine göre otomatik ayarlanabilmektedir. “PID parametreleri” kısmında PID kontrolörün kontrolör kazancı (K), toplam zamanı (T_i) ve fark zaman (T_d) parametrelerinin girişi yapılmaktadır.

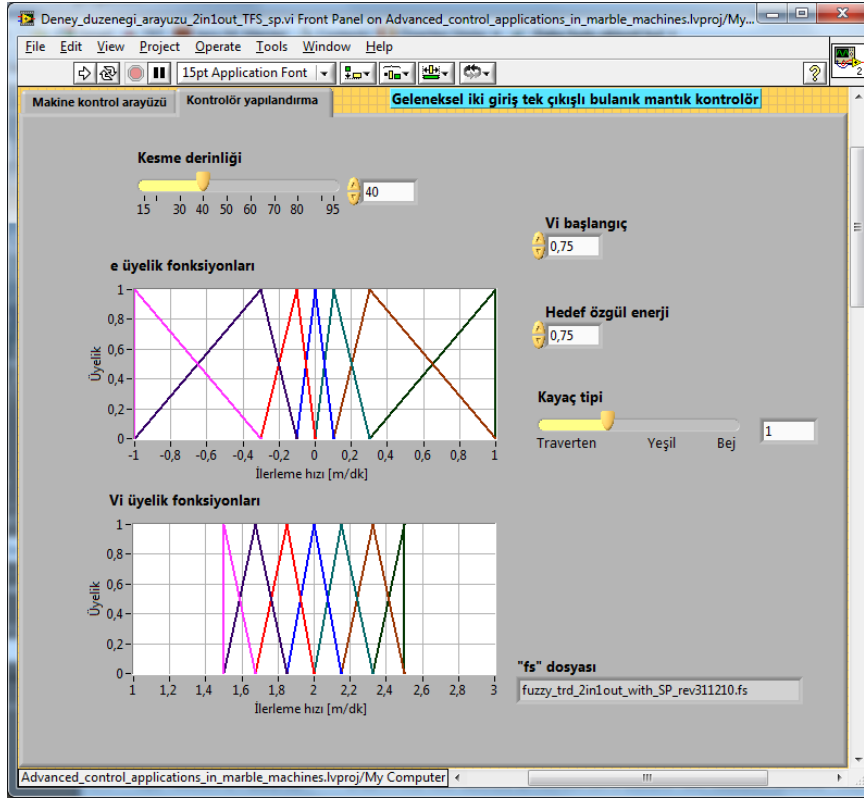


Şekil 5.18. PID kontrolörün yapılandırma ekranı

5.6.2. İki giriş bir çıkışlı bulanık mantık kontrolör

2G1Ç BM kontrolörde hata (e) ve hatanın türevi (de) kontrolör girişlerini ve ilerleme hızı (V_i) kontrolör çıkışını oluşturmaktadır. Kontrol sisteminde; ilerleme hızı: kontrol değişkeni (u), özgül enerji: süreç değişkeni (y) ve hedef özgül enerji: süreç değişkeninin referans değeri (y_{sp}) şeklinde sıralanabilir.

Aşağıda tasarlanan 2G1Ç BM kontrolörlü arayüze ait kontrolör yapılandırma ekranı görülmektedir (Şekil 5.19). Yapılandırma ekranında kontrolörün hata (e) ve ilerleme hızı (V_i) değişkenlerine ait üyelik fonksiyonlarını gösteren iki grafik bileşeni bulunmaktadır. “ V_i başlangıç” bileşeni ilerleme hızının deneye başlama değerini belirlemede kullanılmaktadır. “Hedef özgül enerji” bileşeniyle sistem değişkeninin referans değeri girişi yapılmaktadır. “Mermer tipi” bileşeni kesilen kayaca uygun ilerleme hızı üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi için kullanılmaktadır. Kayaçlar farklı sertliğe sahip olduğundan farklı ilerleme hızlarında kesilmeleri gerekmektedir. Arayüz üzerindeki “Mermer tipi” bileşeni ile kayaç tipi seçilerek uygun ilerleme hızını belirleme işlemini otomatikleştiren bir algoritma çalıştırılmaktadır. Böylece ilerleme hızına ait üyelik fonksiyonlarının mermer tipine göre ayarlanması oldukça basitleştirilmektedir.

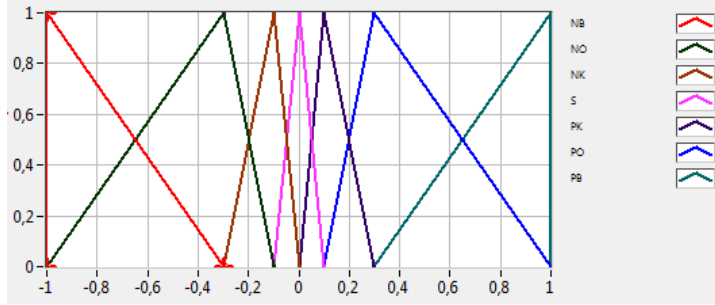


Şekil 5.19. 2G1Ç BM kontrolörün yapılandırma ekranı

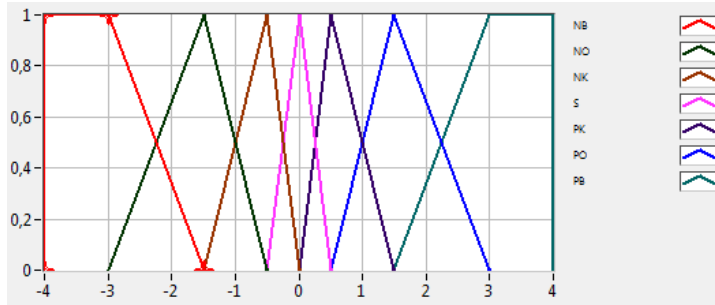
BM kontrolörün G/Ç değişkenlerinin (e , de ve V_i) tamamında yedi üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Üyelik fonksiyonlarında kullanılan sözel etiketler sırasıyla negatif büyük (NB), negatif orta (NO), negatif küçük (NK), sıfır (S), pozitif küçük (PK), pozitif orta (PO) ve pozitif büyük (PB) şeklindedir. Kontrolörün giriş değişkenlerinin sınır değerleri kayaç tipine göre değişim göstermezken çıkış değişkeni (V_i) kayacın tipine göre farklı sınır değerlere ayarlanması gerekmektedir. Buna göre (e) girişi için $[-1-1]$ ve (de) girişi için $[-10-10]$ sınır değerleri kullanılmıştır. Kontrolörün (V_i) çıkışının sınır değerleri kayaç tipine göre değiştirebilmek üzere arayüz programına bir algoritma eklenmiştir. Algoritma seçilen kayacın tipine göre (V_i) çıkış değişkeninin sınır değerlerini değiştirmekte ve üyelik fonksiyonlarını yeni sınır değerlere uyarlamaktadır. Söz konusu algoritma kesme derinliğinin değiştirilmesi durumunda da işletilmektedir.

Aşağıda 2G1Ç BM kontrolörün G/Ç değişkenleri için kullanılan üyelik fonksiyonları verilmektedir (Şekil 5.20). Değişkenler için üçgen ve trapez üyelik fonksiyonları tercih edilmiştir. Trapez üyelik fonksiyonları (de) değişkeninin sınır değerlerini

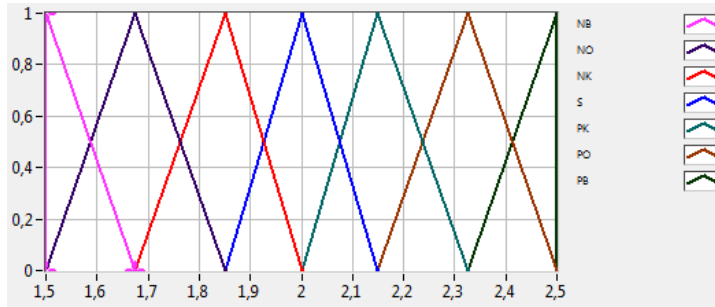
tanımlayan (PB) ve (NB) üyelik fonksiyonları için kullanılmıştır (Şekil 5.20-b). Ayrıca (e) ve (de) değişkeleri sıfırın etrafında değerler aldığından üyelik fonksiyonları negatif büyük (NB) veya pozitif büyükten (PB) sıfıra (S) doğru yoğunlaşacak şekilde düzenlenmiştir (Şekil 5.20-a ve b).



(a)



(b)

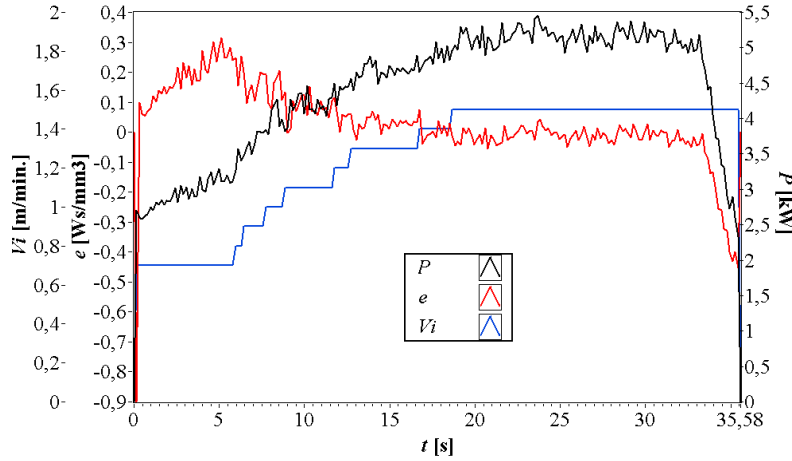


(c)

Şekil 5.20. (a) Hata işareti (b) Hatanın türevi (c) İlerleme hızı üyelik fonksiyonları

BM kontrolörde G/\dot{C} değişkenleri ve üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinin ardından kural tabanının oluşturulması aşamasına geçilmiştir. Kural tabanı mermer kesme sürecinin temel karakteristiğini sergileyen uzman görüşlerini içeren “Eğer-O zaman” kurallarından oluşmaktadır. Kontrolörde iki giriş ve bir çıkış değişkeni bulunduğundan ve her bir değişken yedi üyelik fonksiyonu ile tanımlandığından; giriş sayısı n ve üyelik fonksiyonu sayısı m ile temsil edilmek üzere toplam kural

sayısı m^n formülünden 49 olarak bulunur. Burada giriş sayısının kural sayısını üstel olarak artırdığına dikkat edilmelidir.



Şekil 5.21. Mermer kesme sürecinde hata ve ilerleme hızı ilişkisi

Kural tabanı oluşturulurken kontrolör girişi hata (e) ve kontrol değişkeni ilerleme hızı (V_i) arasındaki ilişki dikkate alınmıştır (Şekil 5.21). Verilen grafikte kesme deneyi 0,7m/dk ilerleme hızında başlatılmış ve testerenin kayaca tamamen girmesinin ardından kademeli olarak artırılmıştır. Hata işareti 0,9Ws/mm³ hedef özgül kesme enerjisi için elde edilmiştir. Buna göre ilerleme hızınının 1,4m/dk değerine gelmesiyle birlikte hata yaklaşık 0Ws/mm³ değerine inmiştir. Bundan sonra ilerleme hızı 1,5m/dk değerine çıkarılmasına rağmen hata yaklaşık 0Ws/mm³ değerinde kalmıştır. İlerleme hızı bu noktadan sonra artırılmaya devam edilseydi hata grafiğinin tekrar artış eğilimine geçmesi beklenebilirdi.

Tablo 5.1. 2G1Ç BM kontrolör için kural tablosu

V_i	de							
	NB	NO	NK	S	PK	PO	PB	
e	NB	NB^1	NB^2	NB^3	NB^4	NO^5	NK^6	S^7
	NO	NB^8	NB^9	NB^{10}	NO^{11}	NK^{12}	S^{13}	PK^{14}
	NK	NB^{15}	NB^{16}	NO^{17}	NK^{18}	S^{19}	PK^{20}	PO^{21}
	S	NB^{22}	NO^{23}	NK^{24}	S^{25}	PK^{26}	PO^{27}	PB^{28}
	PK	NO^{29}	NK^{30}	S^{31}	PK^{32}	PO^{33}	PB^{34}	PB^{35}
	PB	NK^{36}	S^{37}	PK^{38}	PO^{39}	PB^{40}	PB^{41}	PB^{42}
	PB	S^{43}	PK^{44}	PO^{45}	PB^{46}	PB^{47}	PB^{48}	PB^{49}

Şekil 5.21'de verilen karakteristikte hata (e) ile ilerleme hızı (V_i) arasında ters orantı olduğu görülmektedir. Buna göre oluşturulmuş ana köşegene göre simetrik 49 kuraldan oluşan kural tablosu yukarıda görülmektedir (Tablo 5.1). Bu kural tablosu

için “Eğer–O zaman” kuralları sırasıyla aşağıdaki gibi yazılabilir. Tablodaki tüm kurallar için giriş değişkenleri “VE” operatörüyle bağlanmıştır. Yine tüm kurallarda çıkış için minimum çıkarım (*minimum implication*) yöntemi kullanılmıştır.

1. kural: Eğer $\{e = NB\}$ VE $\{de = NB\}$ ise O zaman $\{V_i = NB\}$

2. kural: Eğer $\{e = NB\}$ VE $\{de = NO\}$ ise O zaman $\{V_i = NB\}$

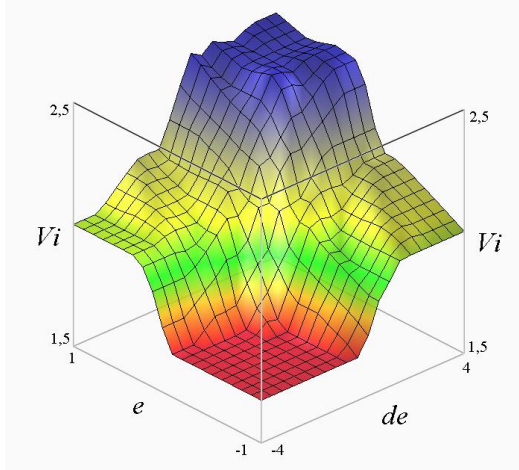
49. kural: Eğer $\{e = PB\}$ VE $\{de = PB\}$ ise O zaman $\{V_i = PB\}$

2G1Ç BM kontrolörde yukarıda verilen kurallar kullanılarak yapılan testlerde kural tabanında bazı iyileştirmeler yapılması gerekmiştir. Yapılan düzenlemeler sonrası elde edilen kural tablosu aşağıda verilmektedir (Tablo 5.2). Görüldüğü gibi kural tablosundaki sıfırlardan oluşan ana köşegenin altındaki köşegene sıfırlar yerleştirilmiştir. Böylece kontrolörün daha kararlı çalışması temin edilmiştir.

Tablo 5.2. 2G1Ç BM kontrolör için iyileştirilmiş kural tablosu

V_i		de						
		NB	NO	NK	S	PK	PO	PB
e	NB	NO^1	NO^2	NO^3	NO^4	NO^5	NK^6	S^7
	NO	NO^8	NO^9	NO^{10}	NO^{11}	NK^{12}	S^{13}	S^{14}
	NK	NO^{15}	NO^{16}	NO^{17}	NK^{18}	S^{19}	S^{20}	PK^{21}
	S	NO^{22}	NO^{23}	NK^{24}	S^{25}	S^{26}	PK^{27}	PO^{28}
	PK	NO^{29}	NK^{30}	S^{31}	S^{32}	PK^{33}	PO^{34}	PB^{35}
	PB	NK^{36}	S^{37}	S^{38}	PK^{39}	PO^{40}	PB^{41}	PB^{42}
	PB	S^{43}	S^{44}	PK^{45}	PO^{46}	PB^{47}	PB^{48}	PB^{49}

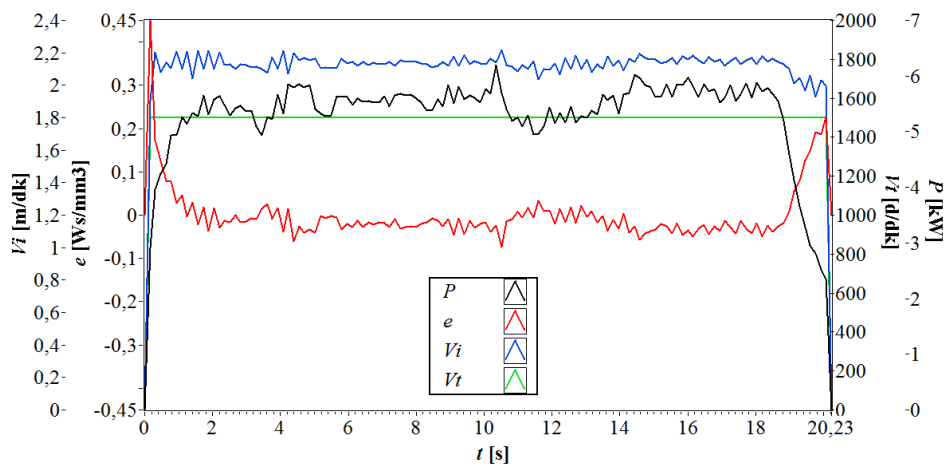
2G1Ç BM kontrolörün çıkarım biriminde elde edilen bulanık sonuç kümeleri ağırlık merkezi (*center of area*) yöntemi ile durulaştırılmıştır. Ağırlık merkezi yöntemi bilgisayarın hesap yükünü artırıcı bir durulaştırma yöntemi olmakla birlikte mermer kesme sürecine uygun bir yöntemdir ve kontrolörün hesaplama süresi için kritik bir durum söz konusu değildir. Aşağıda 2G1Ç BM kontrolörün kontrol yüzeyi verilmektedir (Şekil 5.25).



Şekil 5.22. 2G1Ç BM kontrolör için kontrol yüzeyi

5.6.3. Üç giriş bir çıkışlı bulanık mantık kontrolör

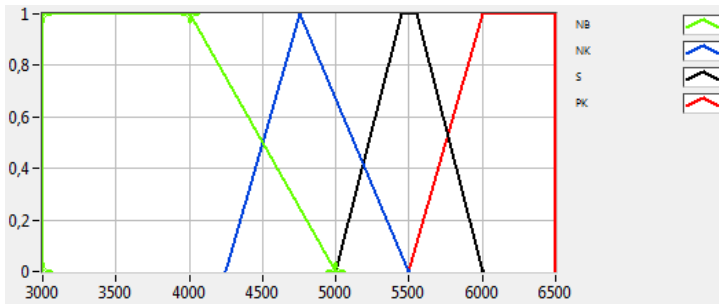
2G1Ç BM kontrolörde yapılan deneylerde hata ve hatanın türeviden oluşan girişlerin kesme süreci karakteristiğini yansıtmakta yeterli olmadığı görülmüştür. Bu eksiklik ilerleme hızı ve hata değişkenleri arasındaki doğrusal olmayan ilişkiden kaynaklanmaktadır. İlerleme hızı artarken hata azalma eğilimi göstermektedir. Ancak hatadaki azalmanın sebebi her zaman ilerleme hızının artışı olmamaktadır. Bazı durumlarda hata kayaçta daha yumuşak, boşluklu, çatlaklı bir bölgenin kesilmesi sırasında da azalma eğilimi gösterebilmektedir (Şekil 5.23).



Şekil 5.23. 2G1Ç BM kontrolör için örnek bir deney sonucu

Aşağıda verilen deney sonucunda 2–4sn ve 10–14sn aralıklarında hata artmış kontrolör ilerleme hızını düşürerek hatayı sıfırlamaya (özellikle kesme enerjisini hedef değerine yükseltmeye) çalışmıştır. Ancak burada kontrolör hatalı tepki vermiş ve müdahalesi durumu daha da bozacak yönde olmuştur. Grafikte aktif güç, hata ve ilerleme hızı grafikleri birlikte incelendiğinde hatadaki azalmanın ilerleme hızındaki artıştan değil aktif güçteki düşüşten olduğu görülmektedir.

Kontrolörün bu durumu değerlendirmesi için üçüncü bir giriş olarak aktif güç değişkeni eklenmiştir. Aktif güç giriş değişkeni [3000–6500] aralığında tanımlanmış negatif büyük (*NB*), negatif küçük (*NK*), sıfır (*S*) ve pozitif büyük (*PB*) sözel etiketlerine sahip toplam dört üyelik fonksiyonuyla tanımlanmıştır. Aktif güç üyelik fonksiyonları da hata ve türevi için kullanılan üyelik fonksiyonlarında (Şekil 5.20-a ve b) olduğu gibi değişimin fazla olduğu sıfırın (*S*) etrafında yoğunlaşacak şekilde düzenlenmiştir (Şekil 5.24).



Şekil 5.24. Aktif güç değişkeni için üyelik fonksiyonları

3G1Ç BM kontrolörde (e , de ve V_i) G/Ç değişkenleri 2G1Ç BM kontrolörde kullanılan değişkenlerle aynı karakteristiğe sahiptir. Bu nedenle burada bu değişkenlere ilişkin bir açıklama verilmeyecektir. Ayrıca 3G1Ç BM kontrolör için tasarlanan arayüz programında kontrolör yapılandırma ekranının 2G1Ç BM kontrolörden farkı olmadığından burada bu ekranla da ilgili bilgi verilmeyecektir.

Aktif güç değişkeni için seçilen dört üyelik fonksiyonu kural tabanı boyutunu dört katına çıkarmıştır (Tablo 5.3). Bir başka ifadeyle kontrolörde aktif gücün her bir üyelik fonksiyonu için 49 kural oluşturulmuştur. Yukarıda 2G1Ç BM kontrolör için verilen 49 kural ile aktif gücün sıfır (*S*) üyelik fonksiyonuna karşılık gelen 99–147

arasındaki kurallar birbirinin aynısıdır (Tablo 5.2 ve 3). Aktif güç değişkenine ait negatif büyük (*NB*) üyelik fonksiyonu için yazılmış 1–49 arasındaki kurallar kayaçta çok yumuşak veya boşluklu bir bölgenin kesilmesi durumunda kontrolörün vereceği tepkileri tanımlamaktadır (Tablo 5.3). Benzer şekilde (*PB*) üyelik fonksiyonu için yazılmış 148–196 arasındaki kurallar ise testere motorunun aşırı yüklenmesi durumunda kontrolörün vereceği tepkileri tanımlamaktadır (Tablo 5.4).

Tablo 5.3. 3G1Ç BM kontrolör için kural tablosu

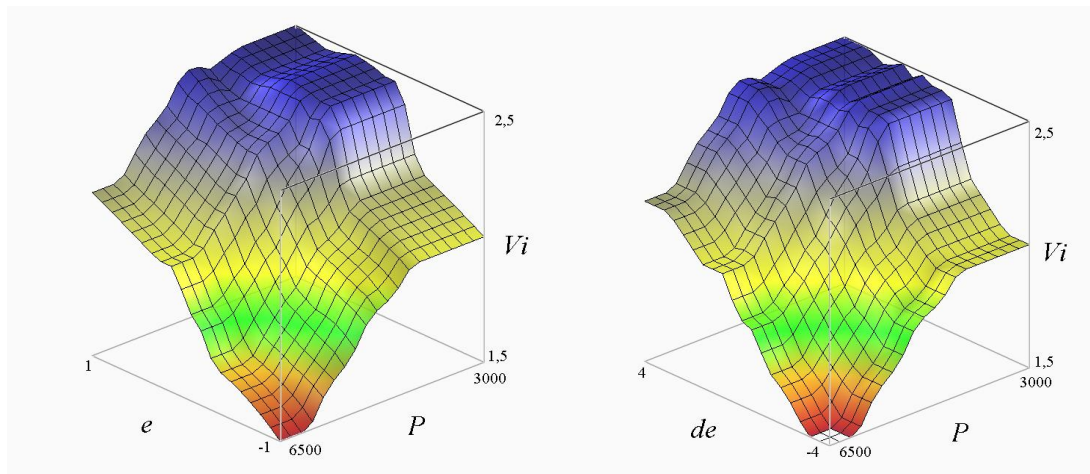
<i>P</i>	<i>e</i>	<i>de</i>						
		<i>NB</i>	<i>NO</i>	<i>NK</i>	<i>S</i>	<i>PK</i>	<i>PO</i>	<i>PB</i>
<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>PB</i> ¹	<i>PB</i> ²	<i>PB</i> ³	<i>PB</i> ⁴	<i>PB</i> ⁵	<i>PB</i> ⁶	<i>PB</i> ⁷
	<i>NO</i>	<i>PB</i> ⁸	<i>PB</i> ⁹	<i>PB</i> ¹⁰	<i>PB</i> ¹¹	<i>PB</i> ¹²	<i>PB</i> ¹³	<i>PO</i> ¹⁴
	<i>NK</i>	<i>PB</i> ¹⁵	<i>PB</i> ¹⁶	<i>PB</i> ¹⁷	<i>PB</i> ¹⁸	<i>PB</i> ¹⁹	<i>PO</i> ²⁰	<i>PK</i> ²¹
	<i>S</i>	<i>PB</i> ²²	<i>PB</i> ²³	<i>PB</i> ²⁴	<i>PB</i> ²⁵	<i>PO</i> ²⁶	<i>PK</i> ²⁷	<i>S</i> ²⁸
	<i>PK</i>	<i>PB</i> ²⁹	<i>PB</i> ³⁰	<i>PB</i> ³¹	<i>PO</i> ³²	<i>PK</i> ³³	<i>S</i> ³⁴	<i>NK</i> ³⁵
	<i>PO</i>	<i>PB</i> ³⁶	<i>PB</i> ³⁷	<i>PO</i> ³⁸	<i>PK</i> ³⁹	<i>S</i> ⁴⁰	<i>NK</i> ⁴¹	<i>NO</i> ⁴²
	<i>PB</i>	<i>PB</i> ⁴³	<i>PO</i> ⁴⁴	<i>PK</i> ⁴⁵	<i>S</i> ⁴⁶	<i>NK</i> ⁴⁷	<i>NO</i> ⁴⁸	<i>NO</i> ⁴⁹
<i>NK</i>	<i>NB</i>	<i>PB</i> ⁵⁰	<i>PB</i> ⁵¹	<i>PB</i> ⁵²	<i>PB</i> ⁵³	<i>PB</i> ⁵⁴	<i>PB</i> ⁵⁵	<i>PO</i> ⁵⁶
	<i>NO</i>	<i>PB</i> ⁵⁷	<i>PB</i> ⁵⁸	<i>PB</i> ⁵⁹	<i>PB</i> ⁶⁰	<i>PB</i> ⁶¹	<i>PO</i> ⁶²	<i>PK</i> ⁶³
	<i>NK</i>	<i>PB</i> ⁶⁴	<i>PB</i> ⁶⁵	<i>PB</i> ⁶⁶	<i>PB</i> ⁶⁷	<i>PO</i> ⁶⁸	<i>PK</i> ⁶⁹	<i>S</i> ⁷⁰
	<i>S</i>	<i>PB</i> ⁷¹	<i>PB</i> ⁷²	<i>PB</i> ⁷³	<i>PO</i> ⁷⁴	<i>PK</i> ⁷⁵	<i>S</i> ⁷⁶	<i>NK</i> ⁷⁷
	<i>PK</i>	<i>PB</i> ⁷⁸	<i>PB</i> ⁷⁹	<i>PO</i> ⁸⁰	<i>PK</i> ⁸¹	<i>S</i> ⁸²	<i>NK</i> ⁸³	<i>NO</i> ⁸⁴
	<i>PO</i>	<i>PB</i> ⁸⁵	<i>PO</i> ⁸⁶	<i>PK</i> ⁸⁷	<i>S</i> ⁸⁸	<i>NK</i> ⁸⁹	<i>NO</i> ⁹⁰	<i>NO</i> ⁹¹
	<i>PB</i>	<i>PO</i> ⁹²	<i>PK</i> ⁹³	<i>S</i> ⁹⁴	<i>NK</i> ⁹⁵	<i>NO</i> ⁹⁶	<i>NO</i> ⁹⁷	<i>NO</i> ⁹⁸
<i>S</i>	<i>NB</i>	<i>NO</i> ⁹⁹	<i>NO</i> ¹⁰⁰	<i>NO</i> ¹⁰¹	<i>NO</i> ¹⁰²	<i>NO</i> ¹⁰³	<i>NK</i> ¹⁰⁴	<i>S</i> ¹⁰⁵
	<i>NO</i>	<i>NO</i> ¹⁰⁶	<i>NO</i> ¹⁰⁷	<i>NO</i> ¹⁰⁸	<i>NO</i> ¹⁰⁹	<i>NK</i> ¹¹⁰	<i>S</i> ¹¹¹	<i>S</i> ¹¹²
	<i>NK</i>	<i>NO</i> ¹¹³	<i>NO</i> ¹¹⁴	<i>NO</i> ¹¹⁵	<i>NK</i> ¹¹⁶	<i>S</i> ¹¹⁷	<i>S</i> ¹¹⁸	<i>PK</i> ¹¹⁹
	<i>S</i>	<i>NO</i> ¹²⁰	<i>NO</i> ¹²¹	<i>NK</i> ¹²²	<i>S</i> ¹²³	<i>S</i> ¹²⁴	<i>PK</i> ¹²⁵	<i>PO</i> ¹²⁶
	<i>PK</i>	<i>NO</i> ¹²⁷	<i>NK</i> ¹²⁸	<i>S</i> ¹²⁹	<i>S</i> ¹³⁰	<i>PK</i> ¹³¹	<i>PO</i> ¹³²	<i>PB</i> ¹³³
	<i>PO</i>	<i>NK</i> ¹³⁴	<i>S</i> ¹³⁵	<i>S</i> ¹³⁶	<i>PK</i> ¹³⁷	<i>PO</i> ¹³⁸	<i>PB</i> ¹³⁹	<i>PB</i> ¹⁴⁰
	<i>PB</i>	<i>S</i> ¹⁴¹	<i>S</i> ¹⁴²	<i>PK</i> ¹⁴³	<i>PO</i> ¹⁴⁴	<i>PB</i> ¹⁴⁵	<i>PB</i> ¹⁴⁶	<i>PB</i> ¹⁴⁷
<i>PK</i>	<i>NB</i>	<i>PB</i> ¹⁴⁸	<i>PB</i> ¹⁴⁹	<i>PB</i> ¹⁵⁰	<i>PB</i> ¹⁵¹	<i>PB</i> ¹⁵²	<i>PO</i> ¹⁵³	<i>PK</i> ¹⁵⁴
	<i>NO</i>	<i>PB</i> ¹⁵⁵	<i>PB</i> ¹⁵⁶	<i>PB</i> ¹⁵⁷	<i>PB</i> ¹⁵⁸	<i>PO</i> ¹⁵⁹	<i>PK</i> ¹⁶⁰	<i>S</i> ¹⁶¹
	<i>NK</i>	<i>PB</i> ¹⁶²	<i>PB</i> ¹⁶³	<i>PB</i> ¹⁶⁴	<i>PO</i> ¹⁶⁵	<i>PK</i> ¹⁶⁶	<i>S</i> ¹⁶⁷	<i>NK</i> ¹⁶⁸
	<i>S</i>	<i>PB</i> ¹⁶⁹	<i>PB</i> ¹⁷⁰	<i>PO</i> ¹⁷¹	<i>PK</i> ¹⁷²	<i>S</i> ¹⁷³	<i>NK</i> ¹⁷⁴	<i>NO</i> ¹⁷⁵
	<i>PK</i>	<i>PB</i> ¹⁷⁶	<i>PO</i> ¹⁷⁷	<i>PK</i> ¹⁷⁸	<i>S</i> ¹⁷⁹	<i>NK</i> ¹⁸⁰	<i>NO</i> ¹⁸¹	<i>NO</i> ¹⁸²
	<i>PO</i>	<i>PO</i> ¹⁸³	<i>PK</i> ¹⁸⁴	<i>S</i> ¹⁸⁵	<i>NK</i> ¹⁸⁶	<i>NO</i> ¹⁸⁷	<i>NO</i> ¹⁸⁸	<i>NO</i> ¹⁸⁹
	<i>PB</i>	<i>PK</i> ¹⁹⁰	<i>S</i> ¹⁹¹	<i>NK</i> ¹⁹²	<i>NO</i> ¹⁹³	<i>NO</i> ¹⁹⁴	<i>NO</i> ¹⁹⁵	<i>NO</i> ¹⁹⁶

Yukarıda verilen kural tablosu için “Eğer–O zaman” kuralları sırasıyla yukarıdaki gibi yazılabilir (Tablo 5.3). Tablodaki tüm kurallar için giriş değişkenleri “VE” operatörüyle bağlanmıştır. Yine tüm kurallarda çıkış için minimum çıkarım yöntemi kullanılmıştır.

1. kural: Eğer $\{e = NB\}$ VE $\{de = NB\}$ VE $\{P = NB\}$ ise O zaman $\{V_i = PB\}$
2. kural: Eğer $\{e = NB\}$ VE $\{de = NO\}$ VE $\{P = NB\}$ ise O zaman $\{V_i = PB\}$

196. kural: Eğer $\{e = PB\}$ VE $\{de = PB\}$ VE $\{P = PB\}$ ise O zaman $\{V_i = NO\}$

Durulaştırma yöntemi olarak 2G1Ç BM kontrolörde olduğu gibi ağırlık merkezi seçilmiştir. Aşağıda kontrolörün kontrol yüzeyleri verilmektedir (Şekil 5.25). Kontrolör üç girişli olduğundan kontrol yüzeyi iki parçaya bölünerek verilmiştir.



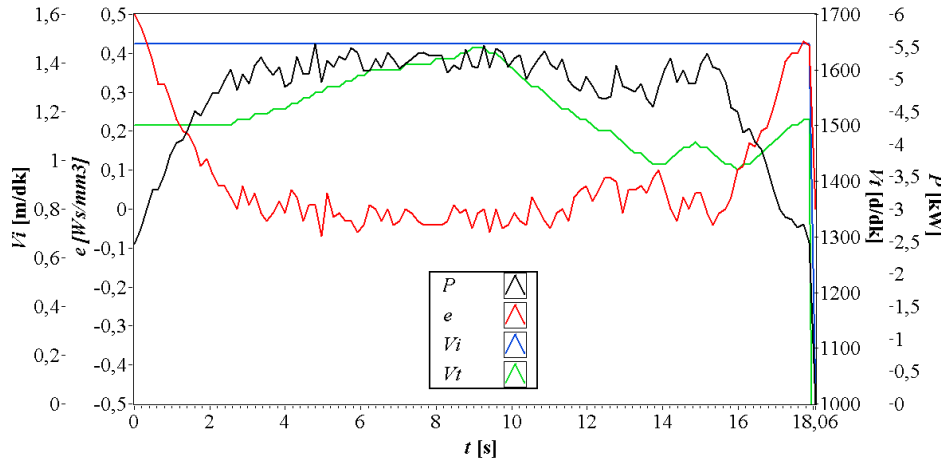
Şekil 5.25. 3G1Ç BM kontrolörün kontrol yüzeyleri

5.6.4. Üç giriş iki çıkışlı bulanık mantık kontrolör

İlerleme hızı kesme sürecinde testere dönüş hızından daha etkili olmakla birlikte testere dönüş hızının etkisi de göz ardı edilemez. Ayrıca verimli bir kesme süreci için ilerleme ve testere dönüş hızlarının birlikte düzenlenmesi ve aralarındaki oranın sabit tutulması gerekmektedir [1]. İlerleme hızının artırılmasıyla birim zamanda kesilen hacim artmakta ve testere dönüş hızının da artırılmasıyla kesme bölgesindeki talaşlar daha kolay atılabilmektedir. Testere dönüş hızının artırılması talaş atılımını rahatlatmakla birlikte hatayı bir miktar artırmaktadır.

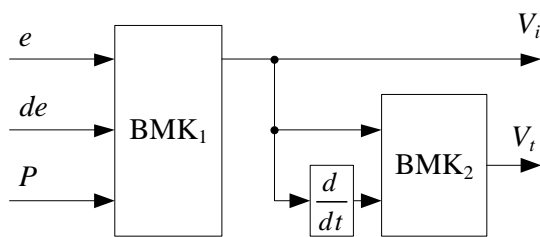
Aşağıda verilen grafikte testere dönüş hızının kademeli olarak değiştirildiği bir deney sonucu görülmektedir (Şekil 5.26). Grafikte testere dönüş hızının artan değerleri için

hata ve aktif güç talebinin arttığı görülmektedir. Ancak testere dönüş hızının etkisinin ilerleme hızı kadar belirgin olmadığı da görülmektedir (Şekil 5.21 ve 5.26).



Şekil 5.26. Testere dönüş hızı ile hata arasındaki ilişki

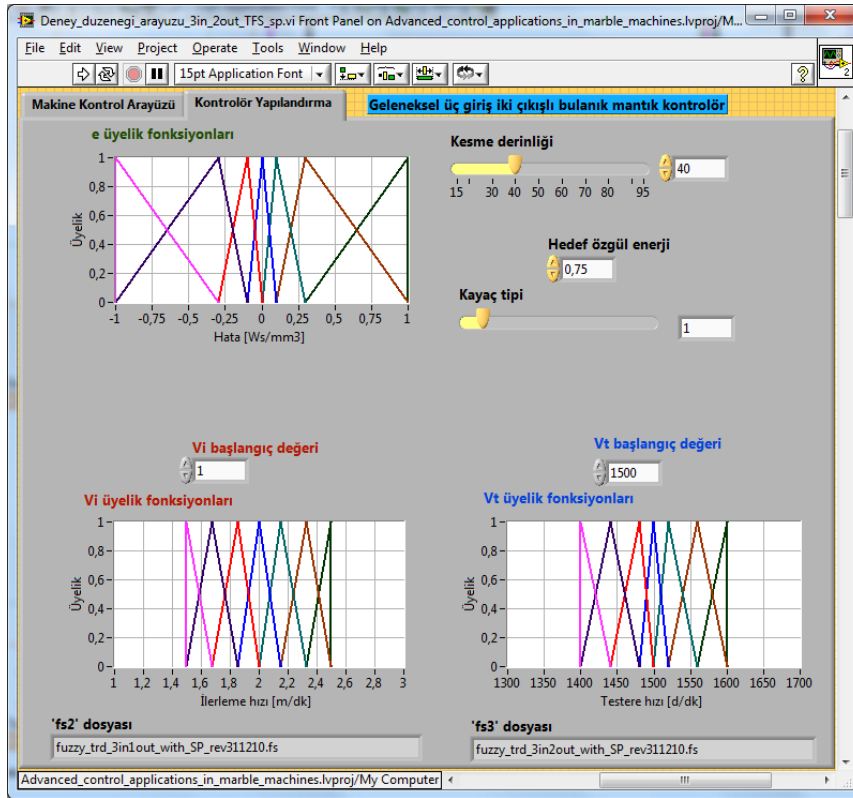
Kesme sürecinde üç girişli kontrolör verimi artırdığı için tasarlanan iki çıkışlı kontrolörde de üç girişli yapı tercih edilmiştir. Tasarlanan kontrolörün ilerleme hızı düzenleyici kısmı yukarıda verilen 3G1Ç BM kontrolörle aynı yapıdadır. Kontrolörün ikinci çıkışı olan testere dönüş hızını düzenlemek için 2G1Ç BM kontrolör 3G1Ç yapıya ilave edilmiştir. Dolayısıyla kontrolör iki BM kontrolörün birleşiminden oluşturulmuştur (Şekil 5.27).



Şekil 5.27. 3G2Ç BM kontrolör blok şeması

Aşağıda tasarlanan 3G2Ç BM kontrolörlü arayüze ait kontrolör yapılandırma ekranı görülmektedir (Şekil 5.28). Yapılandırma ekranında kontrolörün hata (e), ilerleme hızı (Vi) ve testere dönüş hızı (Vt) değişkenlerine ait üyelik fonksiyonlarını gösteren üç grafik bileşeni bulunmaktadır. “Vi başlangıç” ve “Vt başlangıç” bileşenleri sırasıyla ilerleme ve testere dönüş hızlarının deneye başlama değerini belirlemekte

kullanılmaktadır. “Hedef özgül enerji” ve “Mermer tipi” bileşenleri 2G1Ç BM kontrolör arayüzüyle aynı fonksiyonları yerine getirmektedir.

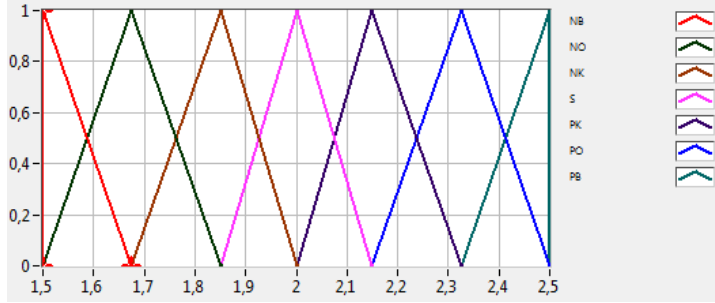


Şekil 5.28. 3G2Ç BM kontrolörün yapılandırma ekranı

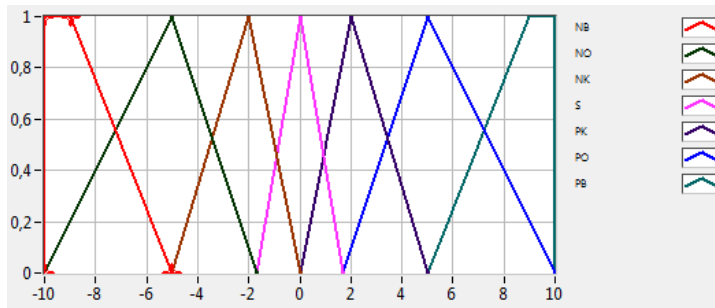
Yukarıda verilen ilerleme hızı düzenleyici BMK₁ biriminin G/Ç değişkenleri, üyelik fonksiyonları, kural tabanı ve kontrol yüzeyleri 3G1Ç BM kontrolörlerle aynı özelliklere sahiptir (Şekil 5.27). Bu nedenle burada 3G2Ç BM kontrolörün ilerleme hızı düzenleyici BMK₁ birimiyle ilgili ekstra bilgi verilmeyecektir.

Testere hızı düzenleyici 2G1Ç BM kontrolörde ilerleme hızı (V_i) ve ilerleme hızının türevi (dV_i) giriş değişkenleri iken testere hızı (V_t) çıkış değişkenidir. G/Ç değişkenlerine ait üyelik fonksiyonları aşağıda verilmektedir (Şekil 5.29). Görüldüğü gibi ilerleme hızı üyelik fonksiyonları 3G1Ç BM kontrolörün ilerleme hızı çıkış üyelik fonksiyonlarıyla aynı karakteristiktir. 2G1Ç ve 3G1Ç BM kontrolörlerde kayaç tipi değiştirildiğinde çıkış değişkeni (V_i) üyelik fonksiyonları aralığını yeni kayaca uyarlayan bir algoritma çalıştırılmaktadır. BMK₂ biriminin giriş değişkeni (V_i) üyelik fonksiyonları da söz konusu bu algoritma ile kayaç tipi değiştirildiğinde

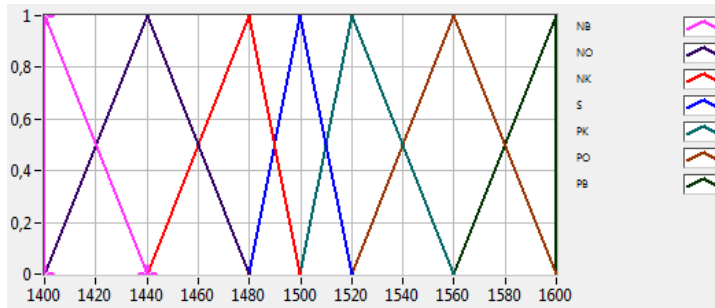
yeni kayaca uyarlanmaktadır. Böylece kayaç tipi değiştirildiğinde kontrolörün testere hızı düzenleyici biriminin de otomatik ayarlanması sağlanmaktadır.



(a)



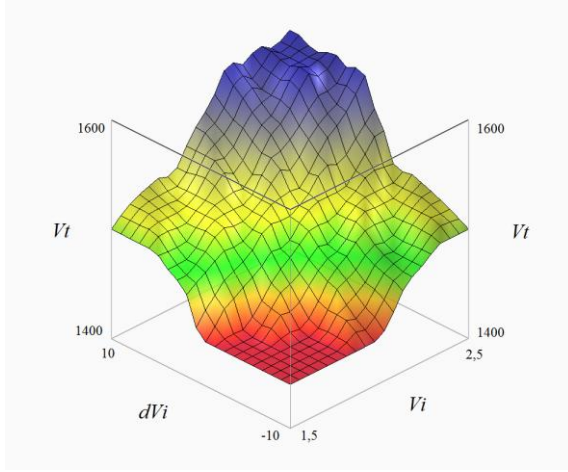
(b)



(c)

Şekil 5.29. (a) İlerleme hızı (b) İlerleme hızının türevi (c) Testere hızı üyelik fonksiyonları

Testere hızı düzenleyici bulanık mantık kontrolörde kullanılan kural tabanı ilerleme hızı düzenleyici 2G1Ç BM kontrolör için kullanılan kural tabanıyla aynı özelliklere sahiptir (Tablo 5.2). Giriş değişkenleri bağlantı operatörleri, çıkış çıkarım yöntemi, durulaştırma yöntemi gibi tüm parametreler de 2G1Ç BM kontrolörle aynı seçilmiştir. Aşağıda testere hızı düzenleyici kontrolörün kontrol yüzeyi verilmektedir (Şekil 5.30).



Şekil 5.30. Testere hızı düzenleyici 2G1Ç BM kontrolörün kontrol yüzeyi

BÖLÜM 6. DENEY SİSTEMATIĞI

6.1. Giriş

Deneysel çalışmaların temelini uygulamadaki değişkenler oluşturur ve deneysel çalışmalar değişkenler arasındaki ilişkileri araştırmak amacıyla yapılır. Yapılan çalışmada birden çok değişken varsa genellikle değişkenlerden biri incelenirken diğerleri sabit tutulur. Bu durum değişken sayısının fazla olduğu deneysel çalışmalarda belirli bir sistematiğe gerçekleştirilmelidir. Böylece gerçekleştirilen çalışmanın bilimsel temellere oturtulması sağlanmış olur.

Bu bölümde deney düzeneği üzerinde gerçekleştirilen deneylerin sistematiği verilmeye çalışılmıştır. İlk olarak deneylerde kullanılan kayaç numuneleri hakkında bilgi verilmiş ardından kesme deneylerinde sabit seçilen parametre değerleri verilmiş ve son olarak kesme sürecinde test edilen kontrolörlerin yapılandırma parametreleri verilmiştir.

6.2. Deneylerde Kullanılan Kayaç Numuneleri

Yapılan kesme deneylerinde Burdur bej ve Uşak yeşil mermeriyle Afyon traverteni olmak üzere üç farklı doğal kayaç kullanılmıştır. Kayaç numunelerinin boyları daha uzun süreli kesme deneyleri yapabilmek amacıyla 900mm seçilmiştir. Deney süresini uzatmaktaki amaç kontrolörün kesme sürecindeki davranışını gözleyebilecek sayıda veri toplayabilmektir. 900mm uzunluğundaki numunede 2m/dk ilerleme hızında kesme deneyi yaklaşık 30sn sürmektedir ve bu kontrolörün davranışını gözlemek için yeterli bir süredir.

Deney numunelerinin genişliği 200mm ve derinliği 70mm'dir. Her bir kesme deneyi için 12mm (testere kalınlığı (4mm) + ikinci kesin için verilecek boşluk (*pass*))

(8mm)) gerektiği düşünülduğünde 200mm genişlik için bir numuneyle yaklaşık 16 deney yapılabilmektedir. Numunelerin derinliği 70mm seçilmek suretiyle taşınabilir ağırlıkta olmaları sağlanmıştır.

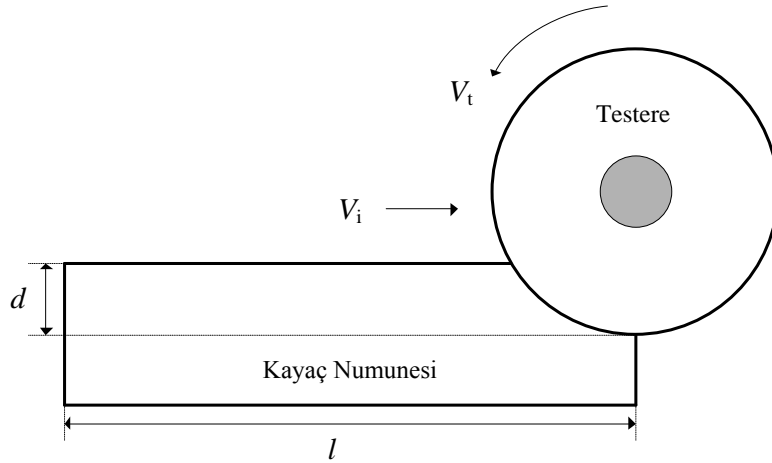
6.3. Deney Parametrelerinin Belirlenmesi

Mermer kesme sürecinde makineye, mermere ve kesici testereye ilişkin çok sayıda parametre bulunmaktadır. Bu parametrelerin her biri bir araştırma konusudur ve tamamının burada incelenme imkanı bulunmamaktadır. Dolayısıyla sürece etki eden parametrelerden bazıları bütün deneyler için sabit tutulmuştur.

Değişken parametrelerden mermere ait olanlar üç tip kayaç seçilerek sınırlandırılmıştır. Ayrıca kesici testere parametreleri de bütün deneyler için, üzerinde 24 parça elmas bulunan UNIMAS marka kesici testere kullanılarak sabit tutulmuştur. Makineye ait parametrelerden kesme derinliği ($d=50\text{mm}$) ve su akış hızı ($V_s=10\text{l/dk}$) değerlerinde sabit tutulmuştur.

Kesme sürecinde değişken seçilen parametreler ise ilerleme (V_i), testere dönüş (V_t) hızıdır. Tasarlanan tek kontrol işaretli kontrol sistemlerinde sadece ilerleme hızı kontrol edildiğinden testere dönüş hızı ($V_t = 1500\text{d/dk}$) ile sabitlenmiştir. Kesme sürecini gözlemek üzere kullanılan parametreler ise özgül enerji ($\dot{O}E$) ve testere motoru aktif gücüdür (P). Testere motoru aktif gücü PID kontrolörlü kontrol sisteminde ve üç girişli BM kontrolörlü kontrol sisteminde kullanılmıştır.

Kesme sürecinde aşağı (*down-cutting*) ve yukarı (*up-cutting*) yönlü kesim olmak üzere iki kesme şekli kullanılabilir [1]. Kesme şekli testere ve numunenin hareket yönlerine göre değişiklik göstermektedir. Aşağıda verilen şekilde testere ve numunenin hareket yönleri göz önüne alındığında aşağı yönlü kesme şekli geçerli olmaktadır (Şekil 6.1). Doğal kayaçların kesimine daha uygun olduğundan [4], deney düzeneği ile gerçekleştirilen tüm deneylerde aşağı yönlü kesme şekli kullanılmıştır.

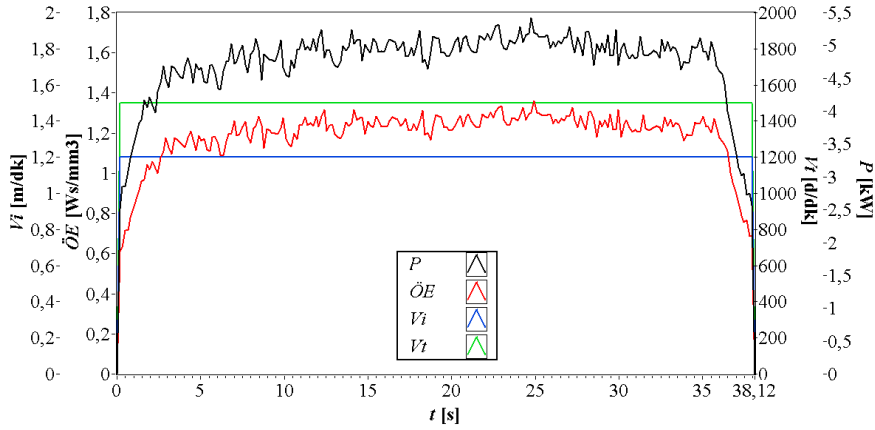


Şekil 6.1. Kesme mekanizması

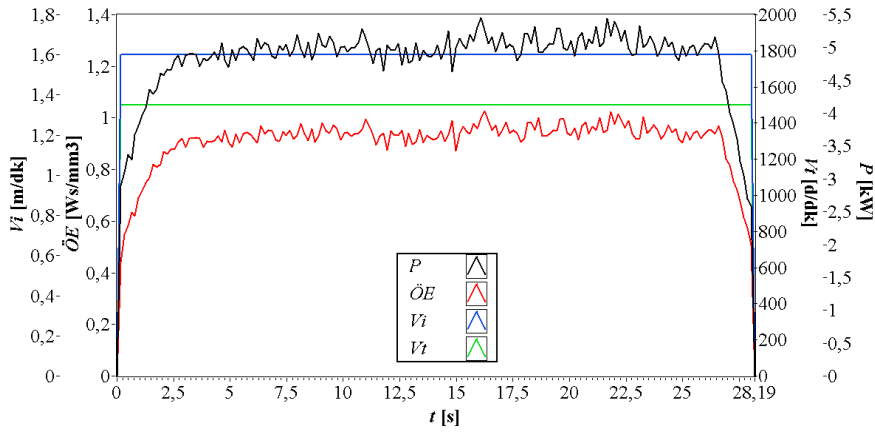
6.4. Kontrolör Parametrelerinin Belirlenmesi

Deney düzeneğinde test edilen kontrolörler için parametre belirleme işlemi sabit ilerleme ve testere dönüş hızında yapılan kesme deneyleri sonuçlarına göre gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde her bir kayacın, motor gücünü aşmayacak şekilde, kesilebileceği maksimum ilerleme hızları tespit edilmiştir. Aşağıda üç kayaç numunesi için gerçekleştirilmiş deney sonuçları görülmektedir (Şekil 6.2–4).

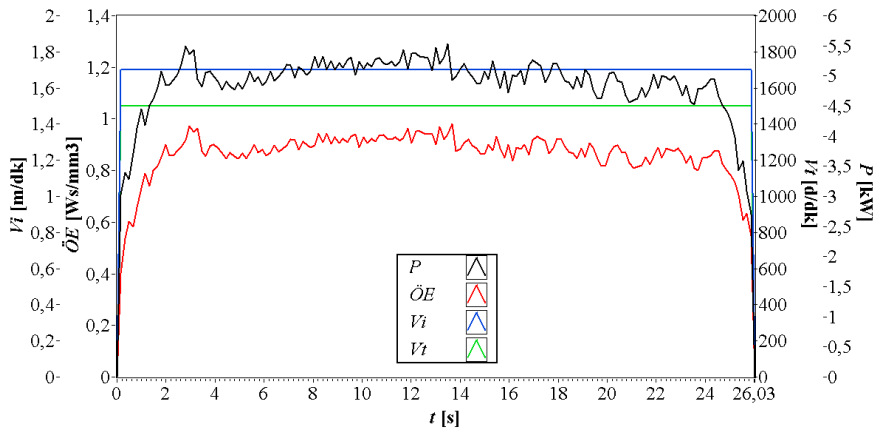
Aşağıda sonuç grafikleri verilen deneyler sırasıyla $1,308-0,985-0,918 \text{Ws/mm}^3$ toplam özgül enerji değerleriyle gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.2–4). Burada $1,308 \text{Ws/mm}^3$ özgül enerji değeriyle Burdur bej mermeri kesme sürecinde en çok enerji harcanan kayaktır (Şekil 4.2). Verilen toplam özgül enerji değerleri kayacın özellikleriyle ilgili bilgi vermektedir. Özgül kesme enerjisi değeri yüksek olan kayaç daha sert, düşük olan kayaç daha yumuşaktır denilebilir. Bu durum ilerleme hızı değerleri incelendiğinde de açıkça görülmektedir. İlerleme hızı daha sert olan Burdur bej mermerinde $1,2 \text{m/dk}$ seçilirken, daha yumuşak olan Afyon traverteninde $1,7 \text{m/dk}$ seçilmiştir. Ayrıca kesme zamanı da daha yumuşak kayaçta kısa, sert kayaçta uzun sürmektedir.



Şekil 6.2. Burdur beji için sabit parametrelerle gerçekleştirilmiş deney sonuçları



Şekil 6.3. Uşak yeşili için sabit parametrelerle gerçekleştirilmiş deney sonuçları



Şekil 6.4. Afyon travertenini için sabit parametrelerle gerçekleştirilmiş deney sonuçları

Üç farklı kayaç numunesi için elde edilen deney sonuçlarında dikkate değer bir diğer ayrıntı da ilerleme ve testere dönüş hızlarının deney süresince sabit tutulmasına rağmen özellikle Burdur beji mermeri ve Afyon traverteninde aktif güç ve özgül enerji grafiklerinde görülen dalgalanmalardır. Aktif güç ve özgül enerji grafiklerinde

görülen dalgalanmalar bu iki kayacın Uşak yeşil mermerine göre homojen olmadığını göstermektedir. Burdur bej mermeri için yapılan kesme deneyinde 2–5sn aralığında aktif güç grafiği yaklaşık 4,6kW değerinde iken beşinci saniyede 5kW değerinin üstüne çıkmaya başlamış ve 27–36sn aralığında tekrar 5kW değerine düşmüştür. Burada güç değerinin düştüğü aralıklarda kesilen bölgenin daha yumuşak bir yapıda olduğu söylenebilir. Benzer dalgalanmalar Afyon traverteni için yapılan kesme deneyi sonuçlarında daha belirgin bir biçimde görülmektedir (Şekil 6.4). Uşak yeşil mermerinde ise aktif güç ve özgül enerji grafiklerinde çok fazla dalgalanma olmadığı güç değerinin neredeyse 5kW değerinde sabit kaldığı söylenebilir (Şekil 5.3).

Sabit ilerleme ve testere dönüş hızlarında yapılan deney sonuçlarına göre test edilen PID ve BM kontrolörler yapılandırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Aşağıda ayrı başlıklar altında test edilen kontrolör yapılandırma işlemleri verilmektedir.

6.4.1. PID kontrolörün yapılandırılması

PID kontrolörün yapılandırılmasında kullanılan parametreler sırasıyla kontrol değişkeni ($u = V_i$) sınır değerleri, kontrol edilen değişkenin ($y = P$) referans değeri (y_{sp}), kontrolör kazancı (K), toplam zamanı (T_i) ve fark zaman (T_d) şeklinde sıralanabilir. PID kontrolörle kesme deneyine başlamadan önce bu beş parametrenin kesilecek kayacın karakteristiğine uygun biçimde ayarlanması gerekmektedir.

Kontrol değişkeni sınır değerleri PID kontrolörün çıkış işareti için doyum sınırlarını belirleyen parametredir ve minimum değeri kesilen tüm kayaçlar $V_{imin}=0\text{m/dk}$ olarak seçilmiştir. Kontrol işaretinin maksimum değeri V_{imax} ise Burdur bej mermeri için 1,8m/dk, Uşak yeşil mermeri için 2,2m/dk ve Afyon traverteni için 2,4m/dk değerine ayarlanmıştır. PID kontrolörde kontrol edilen işaretin referans değeri testere motorunun etiket gücü olan $P = 5,5\text{kW}$ değerine ayarlanmıştır.

Tablo 6.1. PID kontrolör için seçilen parametreler

Kayaç tipi	K	T_i	T_d
Burdur beji	1,3	0,04	0,000015
Uşak yeşili	0,9	0,03	0,000015
Afyon traverteni	1,2	0,04	0,000015

PID kontrolörün kontrolör kazancı (K), toplam zamanı (T_i) ve fark zaman (T_d) parametrelerinin kayaç tipine göre değerleri aşağıdaki tabloda verilmektedir (Tablo 6.1). Tabloda verilen parametreler yapılan bir dizi deneme sonucu tespit edilmiş en uygun değerlerdir. (K , T_i ve T_d) parametreleri deneme yanılma yöntemiyle tespit edilmiş olup herhangi bir özel bir parametre ayarlama yöntemi kullanılmamıştır.

6.4.2. BM kontrolörlerin yapılandırılması

Kesme sürecinde test edilen üçü tek kontrol işaretli ikisi çift kontrol işaretli toplam beş farklı BM kontrolör bulunmaktadır. Ancak BM kontrolörlerin tamamında yapılandırılacak parametre; kontrol edilen değişkenin ($y=ÖE$) referans değeri (y_{sp}) ve kontrol işareti üyelik fonksiyonları olmak üzere iki tanedir. Çift kontrol işaretli kontrolörlerde kullanılan kontrol işareti (testere dönüş hızı) değişim aralığı kesilen tüm kayaçlar için aynı seçildiğinden yapılandırma ihtiyacı bulunmamaktadır.

BM kontrolörlü kontrol sistemlerinde referans değer ve kontrol işareti değişim sınırları aşağıdaki tabloda verilmektedir (Tablo 6.2). Tabloda verilen referans özgül enerji değerleri yukarıda verilen grafiklerdeki özgül enerji değerlerinin bir miktar altındadır (Şekil 6.2). Bunun nedeni, sabit ilerleme ve testere dönüş hızlarında yapılan deneylerde, özgül enerji değerlerinin bir miktar yüksek çıkmış olmasıdır. Özgül enerji değerlerinin yüksek çıkmasının sebebi ise bu deneylerde testere motorunun etiket gücünün bir miktar altında çalıştırılmasıdır.

Tablo 6.2. BM kontrolör için seçilen parametreler

Kayaç tipi	Referans $ÖE$	V_i değişim aralığı
Burdur beji	1,03Ws/mm ³	[1,2-2]
Uşak yeşili	0,83Ws/mm ³	[1,5-2,5]
Afyon traverteni	0,75Ws/mm ³	[1,575-2,625]

6.6. Test Deneyleri

Deney düzeneğine uygulanan dört tip kontrolör, yukarıda da belirtildiği üzere Burdur bej ve Uşak yeşil mermerleriyle Afyon traverteni olmak üzere üç kayaç üzerinde test edilmiştir. Her bir kontrolör için tespit edilen en uygun parametrelerle üç deney gerçekleştirilmiştir. Burada üç deney yapılmasındaki amaç, tesadüfi elde edilebilecek sonuçların önüne geçmektir.

Kontrolörlerle yapılan kesme deneylerinde ilerleme hızlarının başlangıç değerleri Burdur bej ve Uşak mermeriyle Afyon traverteni için sırasıyla 0,8–1–1,1m/dk değerlerine ayarlanmıştır. Ayrıca yine bütün deneylerde testere dönüş hızı başlangıç değeri 1500d/dk değerine ayarlanmıştır.

BÖLÜM 7. DENEY SONUÇLARI

7.1. Giriş

Bu bölümde tez kapsamında tasarlanan kontrolörlerle gerçekleştirilmiş kesme deneylerinden elde edilmiş sonuçlar verilmektedir. İlk olarak üç kayaç için kontrol yöntemlerinde elde edilmiş sonuçlar ayrı ayrı verilmiş ardından kesme deney sonuçları üzerinde özgül enerji toplam kesme süresi, toplam mutlak hata ve verimlilik gibi farklı analizler yapılarak ayrı başlıklar altında sunulmuştur.

7.2. Kontrol Yöntemleri İçin Elde Edilen Sonuçlar

Tez çalışması kapsamında tasarlanan kontrolörleri test etmek üzere çok sayıda kesme deneyi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deney sonuçlarının tamamını grafiksel olarak göstermek mümkün olmadığından bu kısımda kontrol yöntemleri için ayrı başlıklar altında her bir kayaç numunesinde gerçekleştirilmiş deneylerden seçilmiş birer örnek sonuç verilecektir.

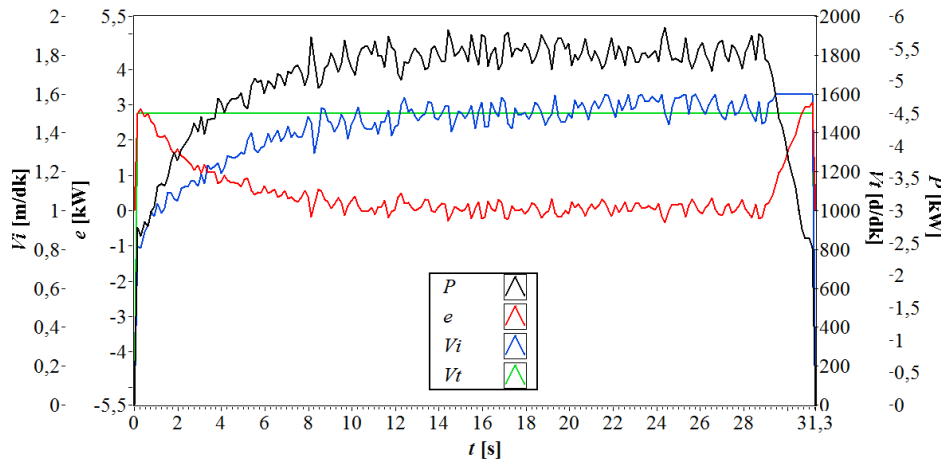
Aşağıda verilen tüm grafik pencerelerinde dört değişkenin zamana göre değişimleri verilmiştir. Grafiklerdeki dört değişken sırasıyla, hata işareti (e), motor aktif gücü (P), ilerleme hızı (V_i) ve testere dönüş hızıdır (V_r). Grafiklerde her bir değişken için ayrı gösterge (*scale*) kullanılmıştır. PID ve BM kontrolörlerde kontrol edilen değişken (y) sırasıyla, aktif güç ve özgül enerji ($\dot{O}E$) olduğundan hata işareti için kullanılan göstergenin birimi ve aralığı iki yöntemde farklılık göstermektedir.

Kesme deneylerinde kontrolörlerin devreye girme koşulu motor gücünün 2,5kW değerine ulaşmasına bağlanmıştır ve deney verilerinin toplama süreci de kontrolörün devreye girmesiyle başlatılmıştır. Böylece hem bütün deneylerde kontrolörlerin eşit

koşullarda başlatılıp durdurulması sağlanabilmiş hem de verilerin karşılaştırılmasında bir standart elde edilebilmiştir.

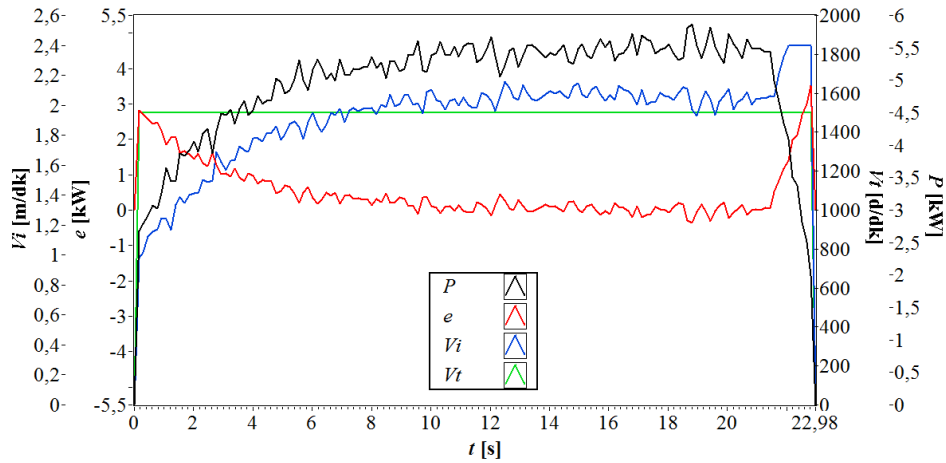
7.2.1. PID kontrolör

PID kontrolörle üç kayaç numunesinde gerçekleştirilen kesme deneyi sonuçları aşağıda verilmektedir (Şekil 7.1, 7.2 ve 7.3). Hata işareti deneyin başlangıcında 3kW civarındadır ve kontrolör pozitif hata işaretiyle kontrol değişkenini (V_i) artırmaktadır. Ancak kontrolör üç kayaç numunesinde de neredeyse sekizinci saniyeden sonra hedef değeri yakalayabilmektedir.

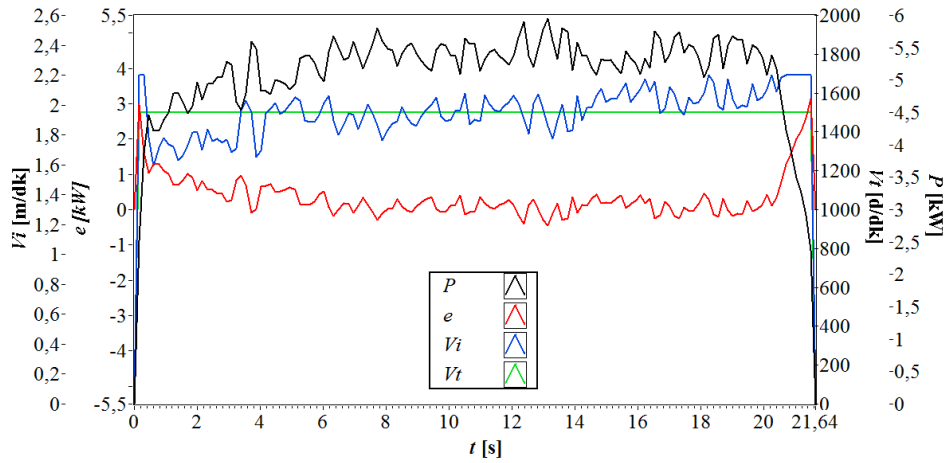


Şekil 7.1. Burdur beji mermeri için PID kontrolör deney sonucu

Kontrolör hedef değeri yakaladıktan sonra hata işaretindeki değişime bağlı olarak kontrol değişkenini düzenleyerek sürece müdahale etmektedir. Burdur beji ve Afyon traverteninde aktif güç grafiğindeki salınımların genliği Uşak yeşilindeki salınımın genliğine göre daha fazladır. Dolayısıyla Burdur beji ve Afyon traverteninde kontrolör hatayı ortadan kaldırmak için kontrol değişkenine daha fazla müdahale etmektedir. Deneyin sonlarında testere kayaçtan çıkmaya başladıkça aktif güç azalmakta ve hata artmaktadır. Bu durumda kontrolör hatayı ortadan kaldırmak üzere kontrol değişkeninin artırmakta fakat testere boşa çıktığından müdahalesi yeterli olamamaktadır.



Şekil 7.2. Uşak yeşili mermeri için PID kontrolör deney sonucu

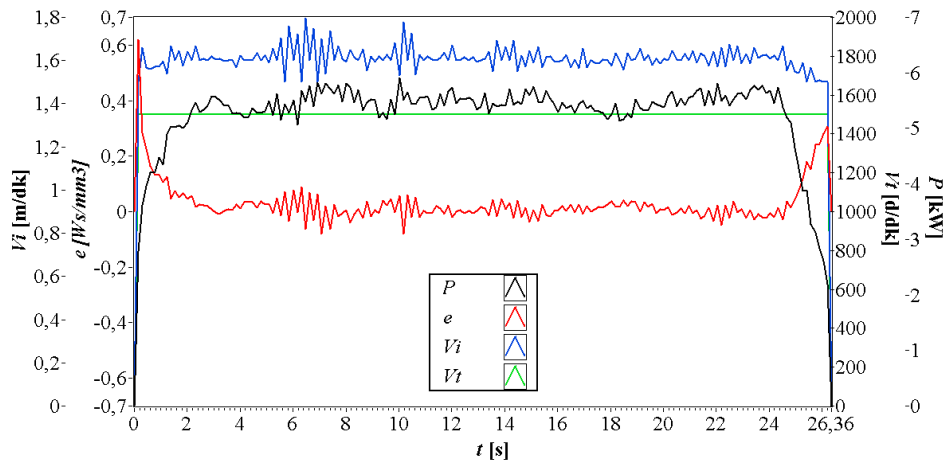


Şekil 7.3. Afyon traverteni için PID kontrolör deney sonucu

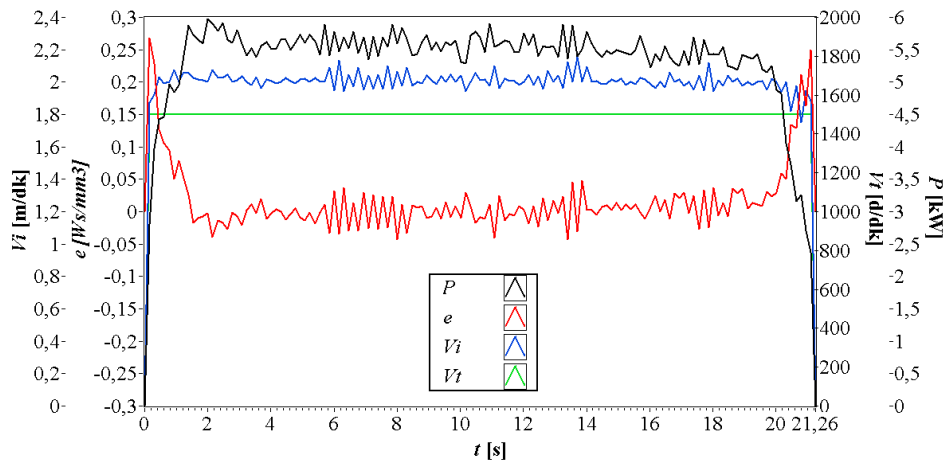
Yukarıda sonuçları verilen PID kontrolörle yapılan deneylerde Burdur bej mermerinde $1,135\text{Ws/mm}^3$, Uşak yeşil mermerinde $0,823\text{Ws/mm}^3$ ve Afyon traverteninde $0,784\text{Ws/mm}^3$ özgül enerji değerleri elde edilmiştir. Deneylerde PID kontrolör hedef değeri sırasıyla kontrol değişkeninin $1,5-2-2,1\text{m/dk}$ değerlerinde yakalayabilmiştir. Burdur bej mermeri ve afyon traverteninde aktif güç grafiğinde salınımlar görülmekle birlikte Afyon travertenindeki salınımlar daha fazladır. Bu ise Afyon travertenini fiziksel yapısının farklı bölgeler barındırdığının bir göstergesidir. Afyon traverteninde kontrolörün hatayı düzeltebilmek için yaptığı müdahaleler de aynı duruma işaret etmektedir.

7.2.2. 2G1Ç BM kontrolör

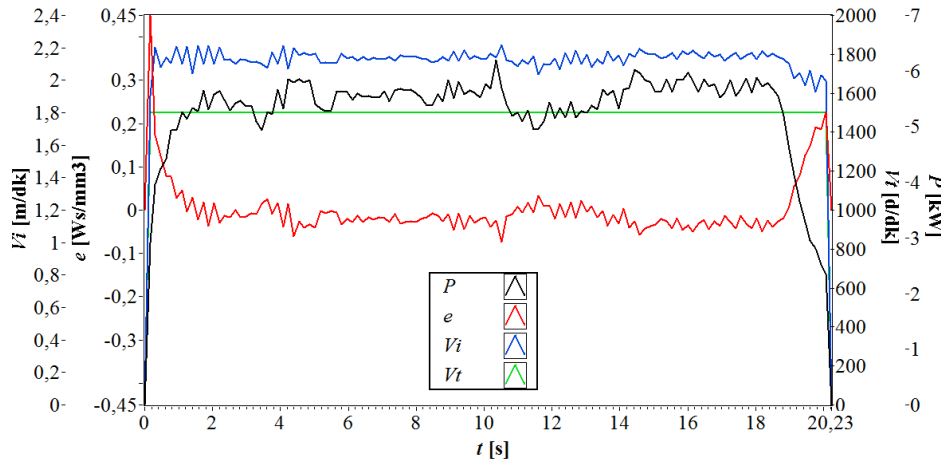
2G1Ç BM kontrolörle üç kayaç numunesinde gerçekleştirilen kesme deneyi sonuçları aşağıda verilmektedir (Şekil 7.4, 7.5 ve 7.6). 2G1Ç BM kontrolörle gerçekleştirilen deneylerde hata işareti başlangıçta yaklaşık $0,4 \text{Ws/mm}^3$ değerindedir ve kontrolörün hatayı yok etme süresi kayaçların tamamında neredeyse iki saniye civarındadır. Kontrolörün hatadaki değişime tepki verme süresi de oldukça kısadır. Burdur bej mermeri ve Afyon traverteninde aktif güç grafiğinde görülen dalgalanmalar dikkate değerdir.



Şekil 7.4. Burdur bej mermeri için 2G1Ç BM deney sonucu



Şekil 7.5. Uşak yeşili mermeri için 2G1Ç BM deney sonucu



Şekil 7.6. Afyon travertenini için 2G1Ç BM deney sonucu

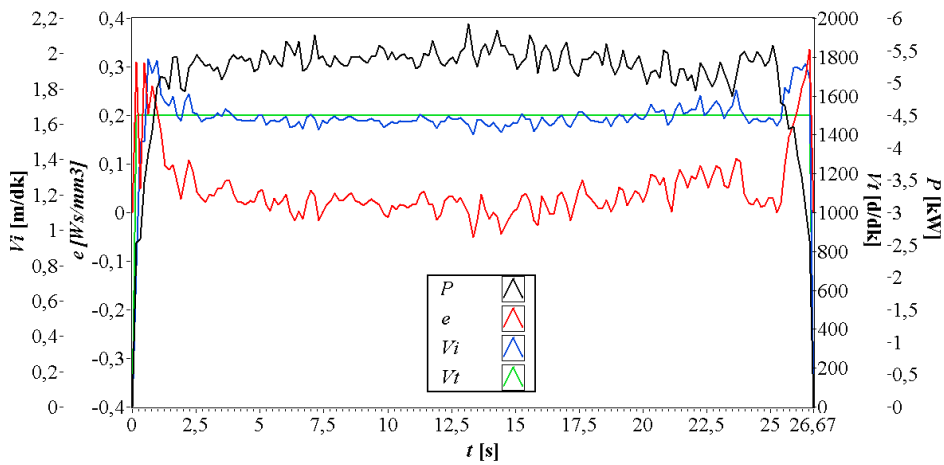
Yukarıda sonuçları verilen 2G1Ç BM kontrolörle yapılan deneylerde Burdur bej mermerinde $1,002\text{Ws/mm}^3$, Uşak yeşil mermerinde $0,784\text{Ws/mm}^3$ ve Afyon traverteninde $0,741\text{Ws/mm}^3$ özgül enerji değerleri elde edilmiştir. Deneylerde 2G1Ç BM kontrolör hedef değeri sırasıyla kontrol değişkenininin $1,6-2-2,1\text{m/dk}$ değerlerinde yakalayabilmiştir. İlerleme hızının bu değerleri kayalar için seçilen kontrol değişkeni üyelik fonksiyonlarında “Sıfır” üyelik fonksiyonunun tepe değerine karşılık gelmektedir.

2G1Ç BM kontrolörle gerçekleştirilen deneylerden özellikle Afyon traverteninde aktif güç grafiğinde 1kW genlikli salınımlar görülmektedir (Şekil 7.6). Grafikte $2-4\text{s}$ ve $10-14\text{s}$ aralığındaki değerler incelendiğinde hata grafiğinin sıfırın üstüne çıktığı bir başka değişle özgül enerjinin hedef değerinin altına gerilediği görülmektedir. Kontrolörün bu aralıklarda verdiği tepki, ilerleme hızını azaltarak özgül enerjiyi artırmak şeklinde tanımlanabilir. Kontrolörün özgül enerji ve türevinden oluşan giriş değişkenleri için verdiği bu tepki anlamlıdır. Ancak burada kontrolör hatalı tepki vermiş ve müdahalesi durumu daha da bozacak yönde olmuştur. Aktif güç, hata ve ilerleme hızı grafikleri birlikte incelendiğinde hatadaki azalmanın ilerleme hızındaki artıştan değil aktif güçteki düşüşten olduğu görülmektedir.

Afyon traverteninde gözlenen kontrolörün bu tepkisini Burdur bej mermerinde de kısmen gözlemek mümkündür (Şekil 7.4). Ancak bu iki kayaca göre daha homojen yapıya sahip Uşak yeşil mermerinde benzer durum gözlenmemektedir (Şekil 7.5).

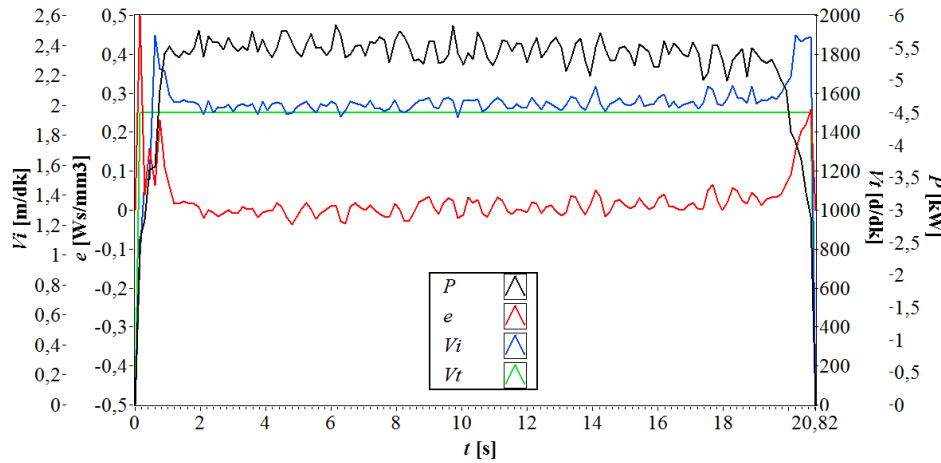
7.2.3. 3G1Ç BM kontrolör

Yukarıda 3G1Ç BM kontrolörle üç kayaç numunesinde gerçekleştirilen kesme deneyi sonuçları verilmektedir (Şekil 7.7, 7.8 ve 7.9). 2G1Ç BM kontrolörde olduğu gibi hatayı yok etme süresi kayaçların tamamında yaklaşık iki saniye civarındadır. 3G1Ç BM kontrolör için elde edilen sonuçlar incelendiğinde Burdur bej mermeri ve Afyon traverteninde aktif güç grafiğindeki salınımların oldukça azaldığı görülmektedir (Şekil 7.7 ve 7.9). 2G1Ç BM kontrolörde hata işaretinin artan değerleri için kontrolör ilerleme hızını azaltarak hatayı yok etmeye çalışmaktaydı. Ancak kontrolörün bu tepkisi durumu düzeltmek yerine daha da bozutu etki gösterdiğinden kontrolöre üçüncü bir giriş olarak aktif güç işareti eklenmişti. Deney sonuç grafiklerinde görüldüğü gibi kontrolör, üçüncü girişi sayesinde hatanın artması durumunda ilerleme hızını azaltmak yerine, aktif gücün durumuna göre gerekiyorsa, artırarak hatayı ortadan kaldırmayı başarmıştır.

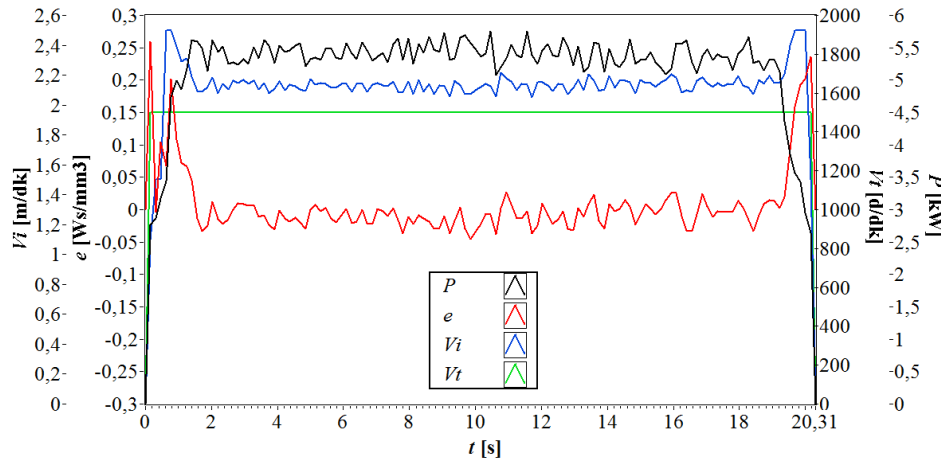


Şekil 7.7. Burdur bej mermeri için 3G1Ç BM deney sonucu

3G1Ç BM kontrolörün aktif güç işaretini deney boyunca neredeyse sabit değerde tutması sayesinde özgül enerji değerleri de 2G1Ç BM kontrolöre göre azaltılabilmektedir. Yukarıda sonuçları verilen 3G1Ç BM kontrolörle yapılan deneylerde Burdur bej mermerinde $0,992\text{Ws/mm}^3$, Uşak yeşil mermerinde $0,759\text{Ws/mm}^3$ ve Afyon traverteninde $0,729\text{Ws/mm}^3$ özgül enerji değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu özgül enerji değerleri 3G1Ç BM kontrolörün daha verimli çalıştığını göstermektedir.



Şekil 7.8. Uşak yeşili mermeri için 3G1Ç BM deney sonucu

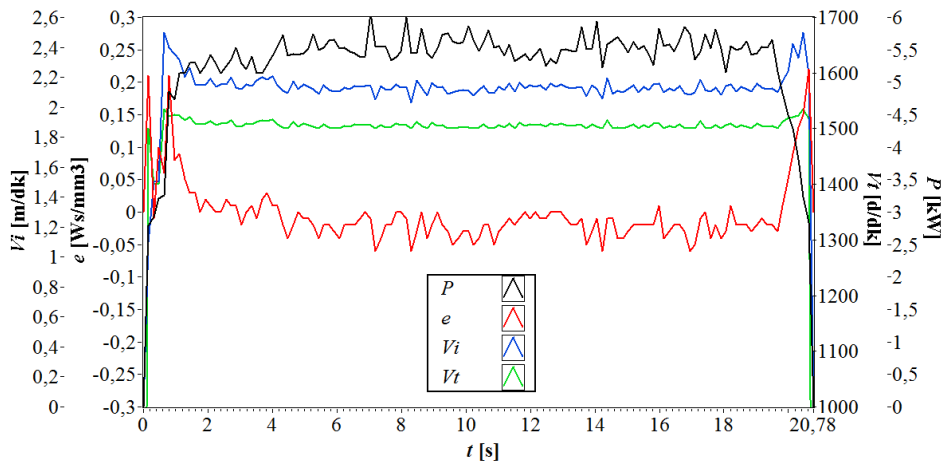


Şekil 7.9. Afyon traverteni için 3G1Ç BM deney sonucu

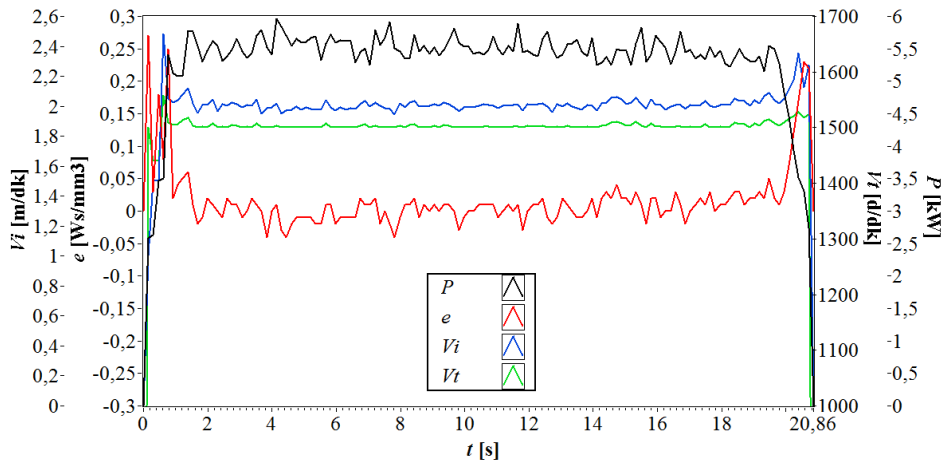
7.2.4. 3G2Ç BM kontrolör

İlerleme hızı kesme sürecinde oldukça etkili bir parametre olmakla birlikte testere dönüş hızının etkisi göz ardı edilemez. İlerleme hızı ve testere dönüş hızları arasındaki oran kesme süreci boyunca sabit tutulabilirse kesme verimi artırılabilir. Kesme sürecinde ilerleme hızı tek başına düzenlenirse, ilerleme hızının artan değerleri için testere talaş kaldırmakta zorlanabilmektedir. Bu durumda ilerleme hızıyla orantılı olarak testere hızı da artırılırsa testere talaş kaldırmak için ekstra bir güç elde edebilmektedir. Böylece enerji verimliliği sağlanabildiği gibi testere soketlerinin de verimli kullanımı sağlanmış olmaktadır.

Ayrıca ilerleme hızının kesme süreci boyunca düzenlenmesi sonucu kesme bölgesinde oluşan talaş miktarı değişim göstermektedir. Talaş miktarı ilerleme hızıyla doğru orantılı olarak değişmekte ve kesme bölgesinde artan talaş miktarı testereyi sıkıştırarak ekstra enerji tüketimine neden olmaktadır. Talaşın atılma hızını etkileyen, testerenin üzerine akıtılan soğutma suyu ve testerenin dönüş hızı olmak üzere iki parametre bulunmaktadır. Soğutma suyunun akış hızı sabit tutulduğundan testere dönüş hızının düzenlenmesi ile talaş atım hızı kontrol edilebilmiştir.



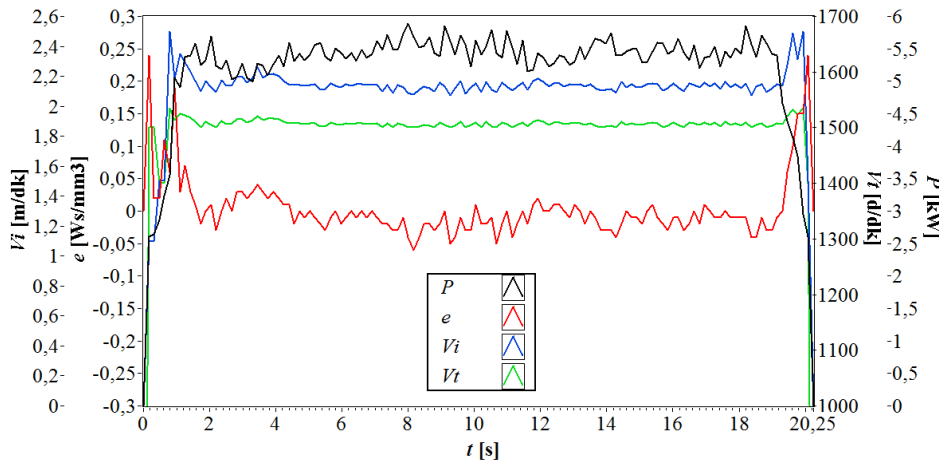
Şekil 7.10. Burdur bej mermeri için 3G2Ç BM deney sonucu



Şekil 7.11. Uşak yeşili mermeri için 3G2Ç BM deney sonucu

Yukarıda 3G2Ç BM kontrolör için elde edilmiş sonuçlar görülmektedir (Şekil 7.13, 7.14 ve 7.15). Üç girişli olarak tasarlanan kontrolörde alınan sonuçlarda aktif güç grafiğinin sabit tutulduğuna dikkat edilmelidir. Geleneksel tek katmanlı formda tasarlanan 3G2Ç BM kontrolörle yapılan deneylerde Burdur bej mermerinde

0,969Ws/mm³, Uşak yeşil mermerinde 0,776Ws/mm³ ve Afyon traverteninde 0,733Ws/mm³ özgül enerji değerleri elde edilmiştir. Burdur bej mermeri ve Afyon travertenini için elde edilen özgül enerji değerleri 3G1Ç BM kontrolöre göre daha düşüktür. Testere dönüş hızının artırılması durumunda özgül enerji artış göstermekle birlikte burada özgül enerji değerlerinin azalmış olması iki çıkışlı kontrolörün kesme verimini artırdığının bir göstergesidir.



Şekil 7.12. Afyon travertenini için 3G2Ç BM deney sonucu

Üç kayaç için alınan sonuçlar incelendiğinde ilerleme ve testere dönüş hızları grafiklerinin benzer karakteristiğe sahip olduğu görülmektedir. İlerleme hızı ve testere dönüş hızlarının birlikte düzenlenmesi sonucunda V_i/V_t oranı da sabit tutulabilmiştir.

7.3. Özgül Enerji Analizi

Özgül enerji maden mühendisliğinde kesilen birim hacim başına tüketilen enerji olarak tanımlanmaktadır ve kesme sürecini tanımlamakta kullanılan önemli bir göstergedir. Aşağıda gerçekleştirilen tüm kesme deneylerinde elde edilmiş toplam özgül enerji değerleri verilmektedir (Tablo 7.1). Verilen özgül enerji değerleri hiçbir kontrol yönteminin uygulanmadığı sabit ilerleme ve testere dönüş hızlarında yapılmış kesme deneylerinden 3G2Ç BM kontrolörlü kesme deneylerine kadar tüm sonuçları içermektedir. Tabloda her bir yöntem için üç farklı kayaç numunesi için gerçekleştirilmiş üç deney sonucu ve bunların ortalamaları görülmektedir. Üç deney yapılmasının ve bunların ortalamaları üzerinden özgül enerji analizi yapılmasının

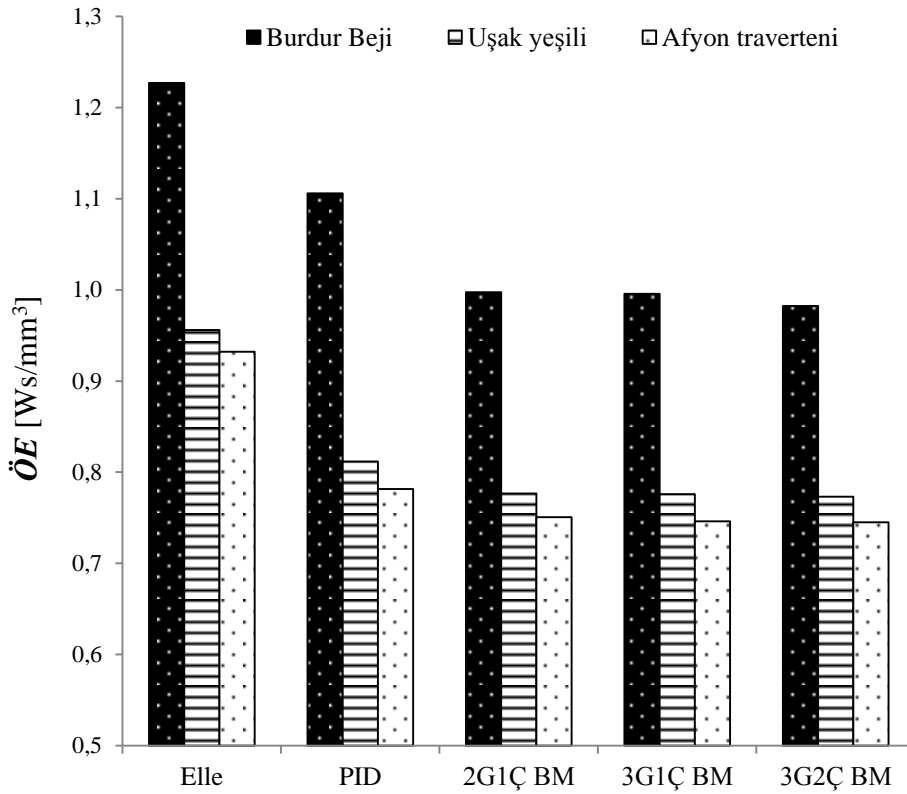
nedeni, kayaçların homojen malzemeler olmaması ve her kesimde farklı sonuçlar elde edilebilmesidir.

Tablo 7.1. Toplam özgül enerji değerleri

Kontrol yöntemi	Burdur beji	Uşak yeşili	Afyon traverteni
<i>Elle</i>	1,308	0,985	0,918
	1,199	0,981	0,986
	1,174	0,902	0,892
	1,227	0,956	0,932
<i>PID</i>	1,135	0,808	0,805
	1,092	0,823	0,784
	1,091	0,804	0,755
	1,106	0,812	0,781
<i>2G1Ç BM</i>	1,002	0,784	0,742
	0,996	0,777	0,759
	0,994	0,769	0,741
	0,997	0,777	0,751
<i>3G1Ç BM</i>	0,992	0,759	0,752
	1,001	0,785	0,757
	0,994	0,784	0,729
	0,996	0,776	0,746
<i>3G2Ç BM</i>	0,994	0,776	0,760
	0,969	0,767	0,742
	0,984	0,776	0,733
	0,982	0,773	0,745

Tabloda özgül enerji değerleri [Ws/mm^3] biriminde ve büyükten küçüğe doğru sıralanmıştır. Buna göre en az özgül enerji değerlerinin elde edildiği yöntem 3G2Ç BM kontrolördür. Tüm kontrol yöntemleri içinde 3G2Ç BM kontrolörle en az özgül enerji değeri elde edilmekle birlikte tek çıkışlı kontrolörler içinde en az özgül enerji değerinin 3G1Ç BM kontrolörle elde edildiği söylenebilir.

Yukarıda kontrol yöntemleri için elde edilen özgül enerji değerlerinin ortalamalarından oluşturulmuş grafik görülmektedir (Şekil 7.13). Grafikte düşey eksen özgül enerji değerini göstermektedir. Görüldüğü gibi Burdur bej mermeri en fazla, Afyon traverteni en az özgül enerji değerlerinin elde edildiği kayaçlardır. Diğer taraftan tüm kontrol yöntemlerinde elle kesme durumuna göre önemli oranda düşük özgül enerji değerleri elde edilmiştir.



Şekil 7.13. Kontrol yöntemleri için elde edilen özgül enerji değerleri

7.4. Toplam Kesme Süresi Analizi

Toplam kesme süresi (T_s) kesme deneyinde testerenin kayaca girişinden başlayıp çıkışına kadar geçen süre olarak ifade edilebilir. Aşağıda gerçekleştirilen tüm kesme deneylerinde elde edilmiş toplam kesme süreleri verilmektedir (Tablo 7.2). Kesme süreleri sabit ilerleme ve testere dönüş hızlarında gerçekleştirilmiş deney sonuçlarıyla birlikte tüm kontrol yöntemleri için gerçekleştirilmiş deney sonuçlarını kapsamaktadır.

Tabloda verilen değerler incelendiğinde kesme sürelerinin elle kesme durumuna göre kontrol yöntemlerinin tamamında kesme süresinde düşüş görülmektedir. Ayrıca PID ve BM kontrolörler arasında kıyaslama yapıldığında BM kontrolörlerde elde edilen kesme sürelerinin daha az olduğunu söylemek mümkündür. BM kontrolörle yapılan deney süreleri dikkate alındığında tek çıkışlı kontrolörlerde iki girişli kontrolörün daha az kesme süreleri yakaladığı söylenebilir. Tek çıkışlı kontrolörlerin kesme

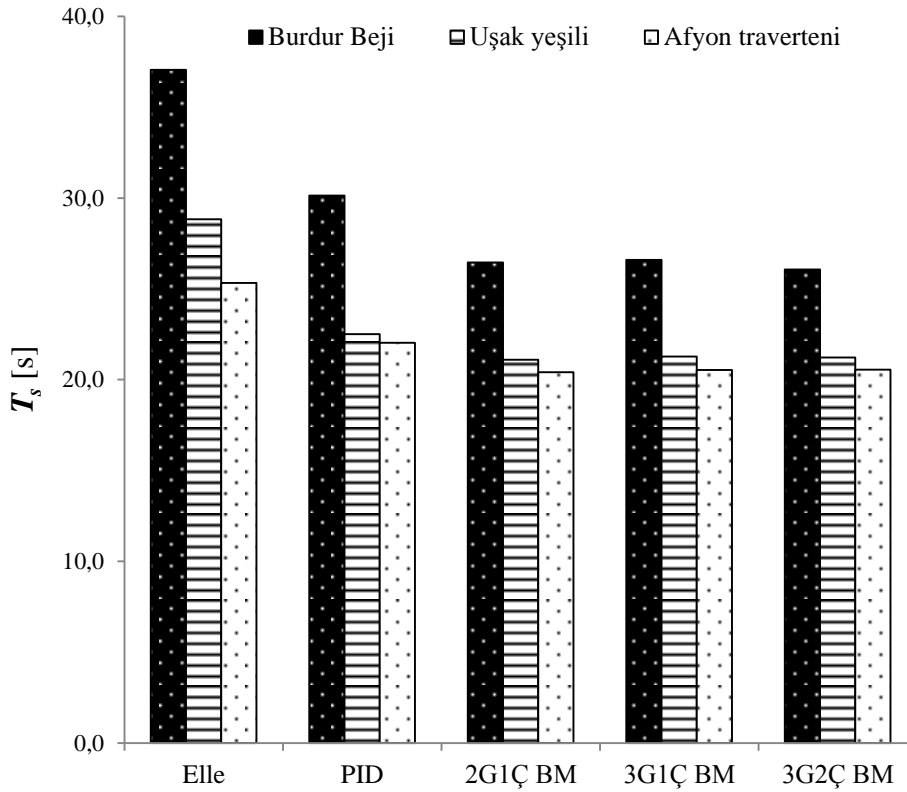
süreleri ortalaması ile iki çıkışlı kontrolörün kesme süreleri karşılaştırıldığında ise iki çıkışlı yapıda daha kısa süreler göze çarpmaktadır.

Toplam kesme süresi ve özgül enerji analizi sonuçları birlikte incelendiğinde kesme süresi ile özgül enerji arasında doğru orantı bulunduğu görülmektedir. Her iki analiz sonucunda da en az süre ve enerji değerleri iki çıkışlı BM kontrolörle elde edilmiştir. Dolayısıyla kesme süresinin azaltılması enerji tüketimini düşürücü etki göstermektedir.

Tablo 7.2. Toplam kesme süreleri

Kontrol yöntemi	Burdur beji	Uşak yeşili	Afyon traverteni
<i>Elle</i>	38,116	28,193	26,028
	37,826	28,402	26,407
	35,251	29,890	23,546
	37,064	28,828	25,327
<i>PID</i>	31,295	23,362	23,124
	29,639	22,977	21,642
	29,479	21,156	21,310
	30,138	22,498	22,025
<i>2G1Ç BM</i>	26,356	21,258	20,247
	26,583	21,159	20,726
	26,432	20,866	20,232
	26,457	21,094	20,402
<i>3G1Ç BM</i>	26,585	20,817	20,609
	26,674	21,547	20,677
	26,539	21,445	20,309
	26,599	21,270	20,532
<i>3G2Ç BM</i>	26,264	21,267	20,780
	25,846	21,523	20,626
	26,084	20,861	20,250
	26,065	21,217	20,552

Yukarıda kontrol yöntemleri için elde edilen kesme sürelerinin ortalamalarından oluşturulmuş grafik görülmektedir (Şekil 7.14). Grafikte düşey eksen toplam kesme sürelerini (T_s) göstermektedir. Görüldüğü gibi Burdur bej mermeri en fazla, Afyon traverteni en az kesme sürelerinin elde edildiği kayalardır. Buradan sert kayaların daha uzun sürede kesildiği sonucu çıkarılabilir.



Şekil 7.14. Kontrol yöntemleri için elde edilen toplam kesme süreleri

7.5. Toplam Mutlak Hata Analizi

Bir kontrol sisteminde kontrolör performansını sayısal olarak ifade etmek için çeşitli analiz yöntemleri kullanılır [48]. Bu yöntemlerden çok kullanılan iki tanesi mutlak hataların toplamı (*integral of absolute error*) ve mutlak hataların zaman değişkeni ile çarpımının toplamıdır (*integral of time absolute error*). Bu çalışmada toplam mutlak hata (TMH) yöntemi kullanılarak deney sonuçlarının analizi yapılmıştır. Aşağıda TMH yönteminin matematiksel ifadesi verilmektedir (7.1).

$$TMH = \int e(t) \cdot dt \quad (7.1)$$

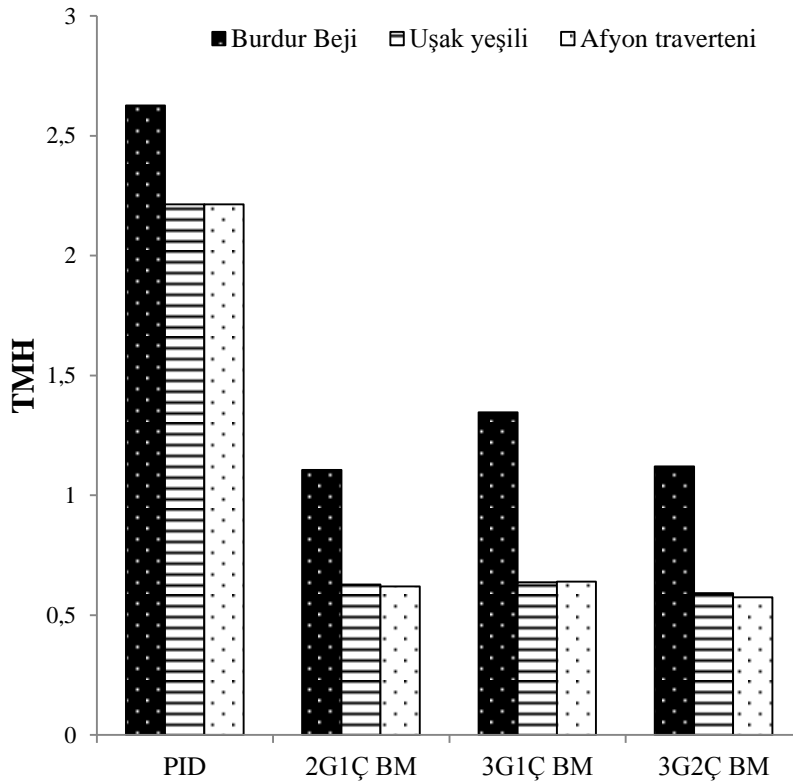
TMH yönteminin deney sonuçlarına uygulanmasıyla aşağıda tabloda verilen sayısal değerler elde edilmiştir (Tablo 7.3). TMH değerleri hesaplanırken kontrolörün devrede olduğu hata işareti verileri kullanılmıştır.

Tablo 7.3. Kontrol yöntemleri için TMH değerleri

Kontrol yöntemi	Burdur beji	Uşak yeşili	Afyon traverteni
<i>PID</i>	2,996	2,989	2,532
	2,574	2,412	1,676
	2,308	1,241	1,641
	2,626	2,214	2,214
<i>2G1Ç BM</i>	1,119	0,627	0,577
	1,091	0,620	0,662
	1,107	0,635	0,748
	1,106	0,627	0,620
<i>3G1Ç BM</i>	1,397	0,644	0,747
	1,331	0,626	0,609
	1,311	0,641	0,561
	1,346	0,637	0,639
<i>3G2Ç BM</i>	1,117	0,636	0,649
	1,180	0,591	0,560
	1,064	0,545	0,511
	1,120	0,591	0,573

TMH değeri ne kadar küçükse kontrolörün performansı o kadar iyi olmaktadır. Bu durumda kayaç bazında bakıldığında kontrolörlerin yüksek performans gösterdiği kayaçlar Uşak yeşil mermeri ve Afyon travertenidir. Bu kayaçlarla yapılan deneylerde PID kontrolör hariç tüm BM kontrolörlerde TMH değerleri birin altındadır. PID kontrolör deneylerinde TMH değerlerinin bu kadar yüksek çıkmasının nedeni, kontrolörün hedef değeri yakalamakta BM kontrolörlere göre yavaş kalmasıdır. Burdur beji mermerinde TMH değerlerinin birin üstünde çıkmasının sebebi ise kayacın diğer kayaçlara göre homojen olmayan bir yapıya sahip olması olabilir.

Aşağıda kontrol yöntemlerinin performans göstergesi TMH değerlerinin ortalamalarından oluşturulmuş üç boyutlu grafik görülmektedir (Şekil 7.15). Grafikten de daha açıkça görüldüğü gibi Afyon traverteni ve Uşak yeşil mermerinde kontrolörlerin performansı oldukça iyidir.



Şekil 7.15. Kontrol yöntemleri için toplam mutlak hata analiz sonuçları

7.6. Kontrol Yöntemlerinin Verimlilik Analizi

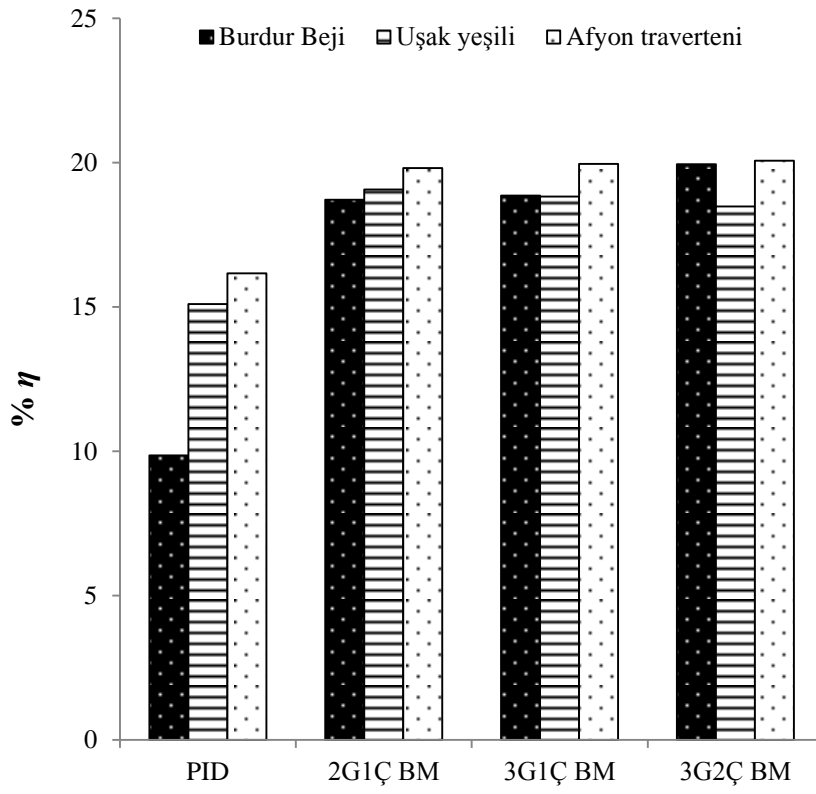
Bu kısımda kontrolsüz kesme durumunda elde edilen özgül enerji değerlerine göre kontrol yöntemlerinin her biri için sağlanan enerji tasarrufu miktarları verilmektedir. Sağlanan enerji tasarrufu miktarları aşağıdaki tabloda her bir deney için yüzde olarak verilmiştir (Tablo 7.4). Kontrol yöntemleri içinde en verimli olanı 3G2Ç BM yöntemi iken en verimsizi PID yöntemidir. Kayaçlar içinde de en yüksek verim Burdur bej mermeri ve Afyon traverteninde sağlanmıştır.

Sadece ilerleme hızının kontrol edildiği tek çıkışlı kontrolörler içinde en verimli olanı 3G1Ç BM kontrolördür. 3G1Ç BM kontrolör %19,95 enerji tasarrufu ile Afyon traverteninde verimliliği en iyi kontrolör olmuştur. Tek çıkışlı BM kontrolörler içinde en düşük verim iki girişli BM kontrolörde gerçekleşmiş olmakla birlikte elde edilen yaklaşık %19 verimlilik oranı oldukça iyi bir değerdir. İlerleme ve testere dönüş hızlarının kontrol edildiği iki çıkışlı 3G2Ç BM kontrolörde kayaçların tümü göz önüne alındığında ortalama %22 verim sağlanmıştır.

Tablo 7.4. Kontrol yöntemleri için enerji tasarruf değerleri

Kontrol yöntemi	Burdur beji	Uşak yeşili	Afyon traverteni
PID	7,498	15,481	13,627
	11,002	13,912	15,880
	11,084	15,900	18,991
	9,861	15,098	16,166
2G1Ç BM	18,337	17,992	20,386
	18,826	18,724	18,562
	18,989	20,502	20,494
	18,718	19,073	19,814
3G1Ç BM	19,152	20,607	19,313
	18,419	17,887	18,777
	18,989	17,992	21,781
	18,854	18,828	19,957
3G2Ç BM	18,989	18,828	18,455
	21,027	17,782	20,386
	19,804	18,828	21,352
	19,940	18,480	20,064

Aşağıda ortalama verim değerleri için elde edilmiş grafik görülmektedir (Şekil 7.16). Grafikte PID kontrolör haricindeki BM kontrolör sonuçları arasında bir gruplaşma olduğu görülmektedir. Ayrıca Afyon traverteninde genel olarak daha yüksek verim elde edilmiştir. Bunun nedeni Afyon traverteninin yapısındaki farklı sertlikte bölgelerdir. Kontrolörler bu farklı sertlikte bölgeleri en uygun kesme parametrelerini seçerek kestiğinden verim artmaktadır. Ancak yapısı daha homojen kayalarda kontrolöre fazla iş düşmediğinden elde edilen verim değerleri de düşük olmaktadır.



Şekil 7.16. Kontrol yöntemleri için elde edilen tasarruf miktarları

BÖLÜM 8. TARTIŞMA ve ÖNERİLER

Laboratuvar ölçekli dairesel testereli mermer kesme makinesinde gerçekleştirilen tez çalışmalarında makine parametrelerinden ilerleme ve testere dönüş hızları kontrol altına alınmak suretiyle enerji tüketimi azaltılmaya çalışılmıştır. Makine parametrelerini kontrol etmek üzere PID ve BM kontrol yöntemleriyle gerçekleştirilmiş dört farklı kontrolör kullanılmıştır. Gerçekleştirilen kontrolörler sadece ilerleme hızının kontrol edildiği ve ilerleme hızının testere dönüş hızıyla birlikte kontrol edildiği iki temel gruptan oluşmaktadır. Tez çalışmasında tasarlanan kontrolörlerin kesme sürecindeki performansını test etmek üzere gerçekleştirilen deneylerde Burdur bej mermeri, Uşak yeşil mermeri ve Afyon traverteni olmak üzere üç kayaç numunesi kullanılmıştır.

Deneylemlerden çıkarılan sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır;

- Üç kayaç numunesi için elde edilen sonuçlar, makine parametrelerinin kontrol altına alınmasıyla elle kesme durumuna göre enerji tasarrufu sağlanabileceğini göstermektedir.
- Sadece ilerleme hızını kontrol etmek üzere gerçekleştirilen kontrolörler içinde üç girişli BM kontrolörde en düşük enerji tüketimi değeri elde edilmiştir.
- PID, süreç dinamiğinin karmaşık ve kesilen kayaçtan kaynaklanan belirsizliklerin hakim olduğu mermer kesme sürecinde test edilen kontrolörler arasında en yüksek enerji tüketiminin gerçekleştiği kontrol yöntemidir. Ayrıca PID kontrolörün parametrelerinin deneme yanılma yöntemiyle belirlenmesi ve kayaç tipine göre parametrelerin değişiklik göstermesi bu kontrolörün mermer kesme sürecine uygun olmadığını göstermektedir.

- BM kontrolörler ise kural tabanlı esnek yapıları sayesinde mermer kesme sürecini kontrol etmede oldukça iyi sonuçlar vermiştir. BM kontrolörün kural tabanı herhangi bir değişiklik yapmadan üç kayaç numunesinde de kullanılmıştır. BM kontrolörde kayaç tipine göre sadece çıkış üyelik fonksiyonunun yapılandırılması gerekmektedir.
- İlerleme ve testere dönüş hızlarının birlikte kontrol edildiği üç girişli BM kontrolörde gerçekleştirilen tüm kontrolör içinde en düşük enerji tüketimi değerleri elde edilmiştir. İki çıkışlı kontrolörde elde edilen ekstra verimin sebebi ilerleme hızı ile testere dönüş hızının sabit tutulmasından ileri gelmektedir.
- Tasarlanan tüm kontrolörler göz önüne alındığında PID kontrolörde elde edilen verim % 10–16 bandında kalmıştır. Sadece ilerleme hızının kontrol edildiği BM kontrolörde verim % 18–20 bandındadır. İlerleme ve testere dönüş hızlarının kontrol edildiği BM kontrolörde ise verimin % 20 sınırının üstüne çıkıldığı görülmektedir.
- BM kontrolörlerde elde edilen verim değerleri kayaçlara göre incelendiğinde Afyon traverteninde en fazla verimin yakalandığı görülmektedir. Bu durum yapısı homojen olmayan kayaçların kesiminde makine parametrelerinin kontrol altına alınmasının önemini göstermektedir.

Gerçekleştirilen deneysel tez çalışmasının ardından yapılabilecek araştırmalar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Üç girişli BM kontrolörlerdeki kural tabanının genişlemesi sonucu tasarıma getirdiği güçlükler hiyerarşik BM kontrolör tasarım yöntemiyle ortadan kaldırılabilir.
- Hiyerarşik yöntemin getirdiği avantajlar kullanılarak BM kontrolöre ilerleme hızı motoru aktif gücü de giriş olarak eklenerek kesme sürecinin daha iyi kontrol etmesi sağlanabilir.
- Laboratuvar ölçekli mermer kesme makinesinde uygulanan kontrol yöntemleri programlanabilir yapılar (mikro kontrolörler, sayısal işaret işleyiciler) kullanılarak

elektronik kart tasarlanmak suretiyle gerçek boyutlu bir mermer makinesine uygulanabilir. Böylece gerçekleştirilen çalışma endüstriyel alanda da uygulama imkanı bulmuş olacaktır.

- Dairesel testereli mermer kesme makineleri için gerçekleştirilen bu çalışmanın tel ve lama testereli kesme süreçlerine uygulanabilirliği araştırılabilir.

- Ayrıca makinenin mekanik tasarımının LabVIEW ile tümleşik çalışabilen üç boyutlu çizim programında oluşturularak makinenin bilgisayar ortamında benzetimi yapılabilir. Bu benzetime daha önceden bir araştırma projesinde geliştirilmiş kayaç modellerinin de eklenmesiyle kesme deneylerinin bilgisayar ortamında gerçekleştirilmesi mümkün olabilir [39]. Bu tarz oluşturulacak bir benzetim sistemi hiçbir zaman gerçek kesme sürecini yansıtamayacaktır ancak özellikle tasarlanan bir kontrolörün ön deneylerinin yapımı aşamasında fazladan kayaç tüketimini önlemekte yardımcı olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] BÜYÜKSAGIŞ, İ.S., Dairesel Testereli Blok Kesme Makinalarında Mermerlerin Kesilebilirlik Analizleri, Doktora tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1998.
- [2] ERSOY, A., ATICI, U., Performance characteristics of circular diamond saws in cutting different types of rocks, *Diamond and Related Materials*, 13, 22-37, 2004.
- [3] ÇINAR, S.M., Mermer Kesme Makinelerinde Elektrik Enerjisi Tüketimi Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [4] TÖHNSOFF, H.K., WOKBER, H.G.; PRZYWARA, R., Das Arbeitsverhalten von Werkzeugen zum Trennschleifen von Gestein, *Industrie Diamanten Rundschau*, 3, 198-205, 1993.
- [5] TÖHNSOFF, H.K., ASCHE, J.; PRZYWARA, R., Bandschleifen von Gestein mit Diamantwerkzeugen, *Industrie Diamanten Rundschau*, 3, 165-169, 1994.
- [6] TÖHNSOFF, H.K., ASCHE, J.; Wear of Metal-Bond Diamond Tools in the Machining of Stone, *Industrial Diamond Review*, 1, 7-13, 1997.
- [7] CHEN, H., LI, J., SPENCE, J., LI, J.C.M., An ELID-cutting saw, *Journal of Materials Processing Technology*, 102, 208-214, 1999.
- [8] XU, X., Friction studies on the process in circular sawing of granites, *Tribology Letters*, 7, 221-227, 1999.
- [9] CHEN, W., Cutting forces and surface finish when machining medium hardness steel using CBN tools, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 40, 455-466, 2000.
- [10] XU, X., Study on the thermal wear of diamond segmented tools in circular sawing of granites, *Tribology Letters*, 10/4, 245-250, 2001.
- [11] XU, X.P., LI, Y., YU, Y., Force ratio in the circular sawing of granites with a diamond segmented blade, *Journal of Materials Processing Technology*, 139, 281-285, 2003.

- [12] POLINI, W., TURCHETTA, S., Force and specific energy in stone cutting by diamond mill, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 44, 1189-1196, 2004.
- [13] ERSOY, A. ATICI, U., Performance characteristics of circular diamond saws in cutting different types of rocks, *Diamond and Related Materials*, 13, 22-37, 2004.
- [14] BÜYÜKSAĞIŞ, İ.S., GÖKTAN, R.M., Investigation of marble machining performance using an instrumented block-cutter, *Journal of Materials Processing Technology*, 169, 258-262., 2005.
- [15] TUTMEZ, B., KAHRAMAN, S., GUNAYDİN, O., Multifactorial fuzzy approach to the sawability classification of building stones, *Construction and Building Materials*, 21, 1672-1679, 2007.
- [16] BÜYÜKSAĞIŞ, İ.S., Effect of cutting mode on the sawability of granites using segmented circular diamond sawblade, *Journal of Materials Processing Technology*, 183, 399-406, 2007.
- [17] ÇİMEN, H., ÇINAR, S.M., Energy consumption analysis in marble cutting processing, *International Symposium on Sustainable Development (ISSD2009)*, Sarajevo-Bosnia/Herzegovina, 1-6, 9-10 June 2009.
- [18] ÇİMEN, H., ÇINAR, S.M., NARTKAYA, M., YABANOVA, İ., Energy Efficiency in Natural Stone Cutting Process, *Energy 2030 Conference IEEE, Atlanta/USA*, 1-6, 17-18 Nov. 2008.
- [19] ASTRÖM, K., HÄGGLUND, T., *PID Controllers: Theory, Design, and Tuning*, Instrument Society of America, USA, 1995.
- [20] CANER, M., *Hiyerarşik Fuzzy Yöntemiyle Senkron Generatörlerde Uyartım Kontrolü*, Doktora tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [21] GÜLBAĞ, A., *Yapay Sinir Ağı ve Bulanık Mantık Tabanlı Algoritmalar ile Uçucu Organik Bileşiklerin Miktarısal Tayini*, Doktora tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [22] ERDAL. H., *Bir İklimlendirme Odasının Bulanık Mantık Yöntemi ile Kontrolü*, Doktora tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1998.
- [23] ELMAS, Ç., *Bulanık Mantık Denetleyiciler*, Seçkin Yayıncılık San. ve Tic. A.Ş., Ankara, 2003.
- [24] ÇİMEN, H., ÇINAR, S.M., ZENGİN, A., Control Applications for Energy Saving in Marble Machining Process, *IEEE- ICMLC2011*, Singapore, 1-6, 26-28 Feb. 2011.

- [25] HORNG, J.H., Hybrid MATLAB and LabVIEW with neural network to implement a SCADA system of AC servo motor, *Advances in Engineering Software*, 39, 149-155, 2008.
- [26] FARACO, G., GABRIELE, L., Using LabVIEW for applying mathematical models in representing phenomena, *Computers & Education*, 49, 856-872, 2007.
- [27] KELLER, J.P., Interactive control system design, *Control Engineering Practice*, 16, 177-184, 2006.
- [28] JIMÉNEZ, FJ., DE FRUTOS, J., Virtual instrument for measurement, processing data, and visualization of vibration patterns of piezoelectric devices, *Computer Standards & Interfaces*, 27, 653-663, 2007.
- [29] ANAND, R.S., PC based monitoring of human heart sounds, *Computers & Electrical Engineering*, 31/2, 166-173, 2005.
- [30] VITTURI, S., PC-based automation systems: an example of application for the real-time control of blowing machines, *Computer Standards & Interfaces*, 26/2, 145-155, 2004.
- [31] VAILLANT, O.R., GARCIA, C., PC-based natural gas flow computer using intelligent instrumentation and field bus, *Measurement*, 33/3, 259-271, 2003.
- [32] SUBRAMANIAN, V.A, ASOKUMAR, G., KUMAR, VJ., Active fin control for yacht using virtual instrumentation, *Ocean Engineering*, 34/3-4, 390-402, 2007.
- [33] AIELLO, M., CATALIOTTI, A., NUCCIO, S., A PC-based instrument for harmonics and interharmonics measurement in power supply systems, *Measurement*, 35/4, 371-380, 2004.
- [34] ÇİMEN, H., ÇINAR, S.M., NARTKAYA, M., YABANOVA, İ., S/T Mermer Kesme Makinelerinde Elektrik Enerjisi Tüketimi Optimizasyonu, TÜBİTAK Araştırma Projesi Raporu, Proje No-106E164, Afyon, 2009.
- [35] <http://www.ni.com/labview/>, NI LabVIEW, National Instruments Corp (Şubat 2011).
- [36] <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/209054>, NI LabVIEW PID and Fuzzy Logic Toolkit for Windows, National Instruments Corp (Şubat 2011).
- [37] <http://www.demmak.com/20/>, DEMMAK Demireller Mermer Makine Sanayi A.Ş (Ocak 2011).
- [38] <http://www.pedrini-italia.it/>, PEDRINI High-Tech Inside (Ocak 2011).

- [39] ÖZÇELİK, Y., ÜNVER, B., BAYRAM, F., YAŞITLI, NE, Bazı Doğal Taşların Dairesel Testere Kesim Yöntemiyle Kesilebilirlik Sınıflaması ve Kesme Mekanizmasının Sayısal Modellemesi, TÜBİTAK Araştırma Projesi Raporu, Proje No-106M384, Ankara, 2008.
- [40] <http://www.ergenlermakina.com/>, Ergenler Makine Sanayi A.Ş (Ocak 2011).
- [41] <http://www.gurmas.com/>, GÜRMAS Gürel Mermer Makine Sanayi A.Ş (Aralık 2010).
- [42] ERTÜRK, S., Sayısal İşaret İşleme, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2005.
- [43] MACLAY, W., Data Acquisition Systems, Strawberry Tree Product Catalog, Sunnyvale, 1995.
- [44] RICHARD, CD., ROBERT, HB., Modern Control Systems, Prentice Hall, Singapore, 2008.
- [45] BENJAMIN, CK., Çev.: BİR, A., Kontrol Sistemleri, Literatür Yayınları, İstanbul, 1999.
- [46] SARIOĞLU, MK., Otomatik Kontrol, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2006.
- [47] ZADEH, LA., Fuzzy sets, Information control, 8, 338-353, 1965.
- [48] <http://www.atp.ruhr-uni-bochum.de/rt1/syscontrol/nod2.html>, Introduction into System Control (Kasım 2010).
- [49] LEE, CC, Fuzzy logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller-Part I, Man and Cybernetics, 20, 404-418, 1990.
- [50] LEE, CC, Fuzzy logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller-Part II, Man and Cybernetics, 20, 419-435, 1990.
- [51] ÇİMEN, H., ÇINAR, SM., NARTKAYA, M., The Development of Software and Hardware for Marble Cutting Tests, 2nd WSEAS CEA'08, Acapulco/Mexico, 244-249, 25-27 Jan. 2008.
- [52] DURSUN, M., ÇİMEN, H., Eviricili ve Eviricisiz Mermer Kesme İşleminin Elektrik Enerjisi Üzerine Etkisi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 25/2, 381-388, 2010.
- [53] CANER, M., AKARSLAN, E., Mermer Kesme İşleminde Spesifik Enerji Faktörünün ANFIS ve YSA Yöntemleri ile Tahmini, Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, 15/2, 221-226, 2009.
- [54] ÜNSAÇAR, F., EŞME, E., Grafik Programlama Dili LABVIEW, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 2007.

- [55] GÖKTAN, RM., Comment on “Correlation of P and S-Waves with Cutting Specific Energy and Dominant Properties of Volcanic and Carbonate Rocks”, *Rock Mech Rock Eng*, 41, 951-952, 2008.
- [56] LI, HX., TSO, SK., Quantitative design and analysis of fuzzy proportional-integral-derivative control a step towards auto-tuning, *International Journal of Systems Science*, 31/ 5, 545-553, 2000.

ÖZGEÇMİŞ

Said Mahmut ÇINAR, 1976 yılında Afyonda doğdu. İlk ve orta öğrenimi Afyon'da tamamladı. Orta öğrenimini tamamlamasına müteakip dört yıl süreyle elektrikçilik mesleğinde farklı işlerde çalıştı. Ardından 1997 yılında Afyon Kocatepe Üniversitesinde ön lisans eğitime başladı. 1999 yılında dikey geçiş yoluyla Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendisliği bölümünü kazanarak lisans eğitime başladı. 2003 yılında bu bölümden Elektrik Mühendisi unvanıyla mezun oldu. 2004 yılında Afyon Kocatepe Üniversitesi Elektrik Eğitimi bölümünde araştırma görevlisi olarak göreve başladı. Aynı yıl adı geçen bölümde yüksek lisans eğitime başladı. 2007 yılında yüksek lisansını tamamladı. Halen Afyon Kocatepe Üniversitesi Elektrik Eğitimi bölümünde görev yapan Said Mahmut ÇINAR evli ve bir çocuk babasıdır.