

KÜÇÜK ÖLÇEKLİ HİDROELEKTRİK SANTRALDE
BULANIK MANTIK ALGORİTMALI PLC İLE TÜRBİN KONTROLÜ

Halil Kurt

Yüksek Lisans Tezi

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Eylül-2013

KÜÇÜK ÖLÇEKLİ HİDROELEKTRİK SANTRALDE
BULANIK MANTIK ALGORİTMALI PLC İLE TÜRBİN KONTROLÜ

Halil Kurt

DUMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Doç. Dr. Yılmaz Aslan

Eylül-2013

KABUL VE ONAY SAYFASI

Halil Kurt'un YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı KÜÇÜK ÖLÇEKLİ HİDROELEKTRİK SANTRALDE BULANIK MANTIK ALGORİTMALI PLC İLE TÜRBİN KONTROLÜ başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

15 / 08 / 2013

Üye : Doç. Dr. Yılmaz Aslan (Danışman)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Celal Yaşar

Üye : Yrd. Doç. Dr. Eyyüb Gülbandılar

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun / / Gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hasan Göçmez
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

KÜÇÜK ÖLÇEKLİ HİDROELEKTRİK SANTRALDE BULANIK MANTIK ALGORİTMALI PLC İLE TÜRBİN KONTROLÜ

Halil Kurt

Elektrik Elektronik Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2013

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Yılmaz Aslan

ÖZET

Enerji üretim sistemlerinin optimal bir şekilde işletimi ve planlanması enerji üretiminde çok önemli yer tutmaktadır. Günümüzde optimal üretimin sağlanması için çeşitli kontrol ve otomasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Kontrol, uygun olanı seçme, uygulama ve takip şeklindeki kompleks yöntemler çok tercih edilmektedir. Bu kompleks yöntemlerde, programlanabilir mantık denetleyicilerin bulanık mantık algoritması ile programlanması ve uygulamanın merkezi denetim ve veri toplama sistemi ile takibi yer almaktadır.

Yapılan çalışmada küçük ölçekli hidroelektrik santralin enerji üretim potansiyelinden maksimum yararlanmak için kontrol, uygun olanı seçme, uygulama ve takip sistemlerini içeren kontrol ve otomasyon yöntemi tercih edilmiştir. Bu santralde bir adet büyük güçlü türbin kullanmak yerine birden fazla daha küçük güçlü türbinler kullanarak barajın enerji üretim potansiyelinden daha fazla yararlanılması öngörülmüştür. Türbinlerin devreye alınması ve devreden çıkarılması için bulanık mantık algoritmali programlanabilir mantık denetleyici kullanılmıştır. Hangi türbin(ler)in devreye alınacağı ya da devreden çıkarılacağına bulanık mantık algoritmali PLC ile karar verilmiştir.

Çalışmada bir adet büyük güçlü türbin kullanarak üretilebilecek enerji hesaplanmış, daha sonra kullanılması öngörülen üç adet türbinin devreye alınması ve devreden çıkarılmasında, beş üyelik kümeli ve yedi üyelik kümeli olmak üzere iki farklı bulanık mantık algoritması kullanarak elde edilebilecek enerji hesaplanmıştır. Bir adet büyük güçlü türbin kullanılmasının maliyeti ile üç adet türbinin kullanılmasının maliyeti karşılaştırılmış ve sonuçlar tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bulanık mantık, küçük ölçekli hidroelektrik santraller, merkezi denetim ve veri toplama sistemi, programlanabilir mantık denetleyici, yenilenebilir enerji.

SMALL-SCALE HYDROELECTRIC POWER PLANT TURBINE CONTROL USING PLC WITH FUZZY LOGIC ALGORITHM

Halil Kurt

Electrical and Electronics Engineering, M.S. Thesis, 2013

Thesis Supervisor: Associated Prof. Dr. Yılmaz Aslan

SUMMARY

The operation and planning of an optimal energy production systems has very important role in energy production. Nowadays, in order to ensure optimal operation of facilities, various control and automation methods are employed. In this process, the most appropriate, implementation and follow-up methods are selected and applied in the form of complex control and automation. In industrial automation these complex methods are implemented by means of programmable logic controllers with fuzzy logic algorithm and monitored by a central control and data acquisition system.

In this study in order to maximize electric power generation from a small-scale hydroelectric power plant, a fuzzy algorithm is implemented by using programmable logic controllers with fuzzy unit. In this process instead of using a single powerful turbine in a small scale hydro-electric power plant, several turbines with lower capacities are employed. Hence it is aimed to maximize electric power generation from the hydroelectric power plant for various water flow rates by operating the most appropriate turbine capacity. The operation and control logic of turbines have been achieved with fuzzy logic algorithm which has been implemented by using programmable logic controllers.

In the study total electric energy that can be produced by using one large powerful turbine has been calculated and compared with the amount to be produced by using smaller turbines operated with fuzzy logic algorithm with three, five and seven membership functions. An economic analysis is carried out and the installment cost of using one large powerful turbine and the cost of using three turbines are studied and the results are compared and discussed.

Keywords: Fuzzy logic, small-scale hydroelectric power plants, supervisory control and data acquisition systems, programmable logic controllers, renewable energy.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmamda tez danışmanım, kıymetli hocam Sayın Doç. Dr. Yılmaz Aslan'a, çalışmam sırasında yardımlarını esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Eyyüb Gülbandılar'a, bilgi ve donanımlarını esirgemeyen dönem arkadaşlarım Sayın Cihan Şahin ve Sayın Yalçın Doğrul'a, bu çalışmayı destekleyen Dumlupınar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Komisyonuna (Proje No: 2012-39), aileme ve eşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Halil Kurt

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
1.GİRİŞ	1
1.1.BM Algoritmali Çalışmalar	3
1.2.PLC Ve SCADA İle Yapılan Otomasyon Çalışmaları	5
1.3.BM Algoritmali PLC İle Kontrol Çalışmaları	6
2.BULANIK MANTIK.....	8
3.PLC ve SCADA	14
3.1.PLC	14
3.1.1. PLC parçaları ve fonksiyonları	16
3.1.2. PLC programlama	20
3.2.SCADA.....	22
3.2.1. SCADA yazılımı	23
3.2.2. SCADA programı bileşenleri.....	24
3.3.PLC-SCADA	26
4.KAYABOĞAZI BARAJI HES TÜRBİNLERİNİN BM TEMELLİ KONTROLÜ.....	27
4.1.Kayaboğazı Barajı.....	27
4.2.Kayaboğazı Barajı Hidro Sistem Çıkış Gücü	27
4.3.Türbin Tipi Seçimi.....	29
4.4.Türbin Güçlerinin Ve Adetlerinin Belirlenmesi	30
4.5.Çalışmanın Bulanık Algoritması	31
4.5.1. Çalışmanın beş üyelik kümeli bulanık algoritması	33
4.5.2. Çalışmanın yedi üyelik kümeli bulanık algoritması.....	41
5.BM ALGORİTMANIN PLC PROGRAMI	50
5.1.PLC Ve Program Yazılımı.....	52
5.2.Çalışmanın HMI Tasarımı	57
5.3.Proje Uygulaması.....	59
6.EKONOMİK ANALİZ	61
7.SONUÇ	67

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
KAYNAKLAR DİZİNİ	69
EKLER.....	74
1.Met Enerji AŞ (MET GRUP) fiyat listesi	74
2.Lindo lineer hesaplama programı örneği	74
3.MATLAB yazılım örneği.....	78

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Bulanık Sistem ve Çalışma Yapısı	9
2.2. Trafik ışıklarına göre araç hız kontrolü örneği	10
2.3. Boy uzunluğu örneğinde bulanık ve klasik küme	12
2.4. Zayıflık örneğinde klasik mantık yaklaşımı	13
2.5. Zayıflık örneğinde BM yaklaşımı	13
3.1. PLC'yi oluşturan ana kısımlar	16
3.2. PLC giriş-çıkış elemanları	18
3.3. Giriş ve çıkış gerilim değerleri	19
3.4. PLC programı akış şeması	20
3.5. PLC tarama çevrimi	21
3.6. WinCC SCADA yazılım örneğinde arayüz görünümü	25
3.7. Otomasyon piramidi	26
4.1. Kayaboğazı barajı aylık bazda debi değerleri	28
4.2. Kayaboğazı barajı yıllık bazda debi değerleri	29
4.3. Debi ve düşü değerlerine göre türbin tipleri	30
4.4. Türbinlerin verim eğrileri	30
4.5. BM algoritmali modellenmiş sistem akış diyagramı.....	31
4.6. Üçgen fonksiyonu	32
4.7. Yamuk fonksiyonu	32
4.8. Beş üyelik kümeli potansiyel güç üyelik derecesi	33
4.9. Beş üyelik kümeli talep edilen güç üyelik derecesi	35
4.10. Beş üyelik kümeli çıkış gücü yüzdesi üyelik derecesi	38
4.12. Beş üyelik kümeli BM akış diyagramı	39
4.11. Ağırlık merkezi yöntemi	40
4.13. Yedi üyelik kümeli potansiyel güç üyelik derecesi.....	42
4.14. Yedi üyelik kümeli talep edilen güç üyelik derecesi.....	43
4.15. Yedi üyelik kümeli çıkış gücü yüzdesi üyelik derecesi	47
4.16. Yedi üyelik kümeli BM akış diyagramı	48

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.1. PLC programı blok şeması.....	51
5.2. PLC programı akış diyagramı	51
5.3. PCCA ve TCCA üyelik fonksiyonlarının CFC dilindeki PLC yazılımları	52
5.4. PCCF ve TCCF üyelik fonksiyonlarının CFC dilindeki PLC yazılımları.....	53
5.5. PCA üyelik fonksiyonunun CFC dilindeki PLC yazılımı.....	53
5.6. TA üyelik fonksiyonunun CFC dilindeki PLC yazılımı	54
5.7. G51, G52, G53, G54 ve G55'in Min-Max yönteminde CFC dilindeki PLC yazılımı	54
5.8. G5'in Min-Max yönteminde CFC dilindeki PLC yazılımı	55
5.9. Ağırlık ortalaması yöntemine göre gerçekleştirilen berraklaştırmanın CFC dilindeki PLC yazılımı.....	56
5.10. 'z çıkış yüzdesi'nin CFC dilindeki PLC yazılımı	56
5.11. Giriş (X,Y) ve çıkış (T1, T2, T3) değerlerinin PLC programı arayüzü	57
5.12. HMI Tasarım.....	57
5.13. HMI dokunmatik ekran aktif görüntüsü.....	58
5.14. PLC'nin giriş ve çıkış birimlerinin HMI ekranda gösterimi	58
5.15. Proje uygulaması.....	59
5.16. Projenin SCADA uygulaması	59
6.1. http://dgpys.teias.gov.tr/dgpys/ GOP SGOF değerleri.....	66

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.1. Kayaboğazı Barajı 2007-2011 yılları arası gelen su miktarı ve ortalama debi değerleri ...	28
4.2. Düşü değerine göre türbin tipleri [2].....	29
4.3. Seçilen türbin güçleri ve adedi.....	31
4.4. Beş üyelik kümeli potansiyel güç üyelik kümeleri	34
4.5. Beş üyelik kümeli talep edilen güç üyelik kümeleri	35
4.6. Beş üyelik kümeli kural tabanı.....	36
4.7. Beş üyelik kümeli BM algoritmali çalışmanın MATLAB-SIMULINK ortamında yapılan benzetimler sonucu elde edilen örnek çıkış güçleri.....	40
4.8. Yedi üyelik kümeli potansiyel güç üyelik kümeleri.....	42
4.9. Yedi üyelik kümeli talep edilen güç üyelik kümeleri	43
4.10.Yedi üyelik kümeli kural tabanı	45
4.11.Yedi üyelik kümeli BM algoritmali çalışmanın MATLAB-SIMULINK ortamında yapılan benzetimler sonucu elde edilen örnek çıkış güçleri.....	49
6.1. Türbin güçlerine göre maksimum üretim debileri.....	61
6.2. 1150 kW'lık bir adet Francis türbin için üretilebilecek elektrik enerjisi	61
6.3. Beş üyelik kümeli BM algoritma denetimli T1, T2 ve T3 türbinleri için elde edilen debi yüzdeleri	62
6.4. Beş üyelik kümeli BM algoritma denetimli T1, T2 ve T3 türbinleri için üretilebilecek elektrik enerjisi	63
6.5. Yedi üyelik kümeli BM algoritma denetimli T1, T2 ve T3 türbinleri için elde edilen debi yüzdeleri	63
6.6. Yedi üyelik kümeli BM algoritma denetimli T1, T2 ve T3 türbinleri için üretilebilecek elektrik enerjisi	64
6.7. HES kurulum maliyeti.....	65
6.8. Benzetimleri yapılan sistemlerin maliyet karşılaştırması.....	65

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
P	Hidroelektrik santralin çıkış gücü, barajın potansiyel gücü (W)
η	Türbinin hidrolik verimi
φ	Suyun özgül ağırlığı (kg/m^3)
g	Yerçekimi ivmesi (10 m/s^2)
Q	Suyun debisi (m^3/s)
H	Suyun etkin düşü yüksekliği (m)
T	Talep edilen güç (W)
G	Uygun çıkış gücü (W)
μ_x	Üyelik derecesi
$S1, S2, S3$	Alternatörleri yerel sisteme bağlayan anahtarlar
$S4$	Santrali yerel sisteme bağlayan kesici
<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
AC	Alternatif akım
DC	Doğru akım
CPU	Central Processing Unit
PLC	Programlanabilir mantık denetleyici
$EPROM$	Erasable Programmable Read Only Memory
FBD	Function Block Diagram
STL	Standard Template Library
$SCADA$	Supervisory Control And Data Acquisition
AER	Arkla Energy Resources
$PICA$	Power Industry Computer Applications
MMI	Man-machine interface / İnsan–makine arayüzü

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
<i>HES</i>	Hidroelektrik santral
<i>KÖHES</i>	Küçük ölçekli hidroelektrik santral
<i>BM</i>	Bulanık mantık
<i>PCCA</i>	Potansiyel güç çok çok az
<i>PCA</i>	Potansiyel güç çok az
<i>PA</i>	Potansiyel güç az
<i>PN</i>	Potansiyel güç normal
<i>PF</i>	Potansiyel güç fazla
<i>PCF</i>	Potansiyel güç çok fazla
<i>PCCF</i>	Potansiyel güç çok çok fazla
<i>TCCA</i>	Talep edilen güç çok çok az
<i>TCA</i>	Talep edilen güç çok az
<i>TA</i>	Talep edilen güç az
<i>TN</i>	Talep edilen güç normal
<i>TF</i>	Talep edilen güç fazla
<i>TCF</i>	Talep edilen güç çok fazla
<i>TCCF</i>	Talep edilen güç çok çok fazla
<i>COG</i>	Ağırlık merkezi yöntemi
<i>MV1, MV2, MV3</i>	Motorlu vana
<i>GOP</i>	Gün öncesi piyasa
<i>SGOF</i>	Sistem gün öncesi fiyatı
<i>CoDeSys</i>	Controlled Development System, Kontrollü Geliştirme Sistemi
<i>CFC</i>	The Continuous Function Chart Editor, Sürekli Fonksiyon Grafik Editörü

1. GİRİŞ

Gelişen ve kaynakları teknolojiyle beraber hızla tükenen dünyamızda, enerji ihtiyacı had safhadadır. Çok çeşitli enerji elde yöntemleri olmakla birlikte yenilenebilir enerji kaynakları son yıllarda oldukça rağbet görmektedir.

Enerji üretimi sırasında kullanılacak kontrol sistemleri, rüzgâr santralleri, güneş panelleri, jeotermal kaynaklar ve hidroelektrik santraller (HES) olarak sıralanabilen yenilenebilir enerji kaynaklarında önemli bir yere sahiptir.

Kontrol sistemleri tüm kaynaklarda olduğu gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının da verimliliğini etkilemektedir (Kurt, H. ve Aslan, Y., 2012).

HES'ler dünyadaki elektrik ihtiyacının yaklaşık olarak %19'unu karşılamaktadır ve HES'lerin içindeki küçük ölçekli hidroelektrik santraller (KÖHES) önemli bir yere sahiptir. Uluslararası bir sınırlama olmamakla beraber genellikle kurulu gücü 2,5 MW ile 25 MW arasında olan santraller KÖHES olarak değerlendirilmektedir. 2,5 MW'ın altındaki güçler mini-hidro, 500 kW'ın altındaki güçler mikro-hidro ve 10 kW'ın altındaki güçler ise piko-hidro olarak sınıflandırılmıştır (Kurt, H. ve Aslan, Y., 2012., Aslan, Y., Yasar, C., Karabörk, M.Ç.,2004).

Bu çalışmada, Kütahya İli Tavşanlı İlçesinde bulunan ve Kocaçay Irmağı tarafından beslenen Kayaboğazı barajının enerji potansiyeli değerlendirilmiştir. Tarımsal sulamanın yanı sıra Tavşanlı'nın içme suyu ve Seyitömer Termik Santrali'nin soğutma suyu amaçlı olarak kullanılan Kayaboğazı barajı, yapılan araştırma neticesinde yaklaşık 1 MW'lık potansiyel güce sahip mini-hidro sınıfında değerlendirilmiştir.

Kayaboğazı Barajı'nı besleyen Kocaçay Irmağı'nın su rejimi mevsimsel şartlara göre sürekli değişkenlik göstermektedir. Türbin verimlerinin düşük debilerde çok düşmesinden ve türbinin devre dışı kalmasından dolayı bir tane türbinin kurulması planlanan HES için uygun değildir (Aslan, Y., 2004). Bu nedenle bir adet büyük güçlü türbin yerine, daha düşük güçlerde birden fazla türbinin kurulması düşünülmüştür. Türbin(ler)in kontrolünde, değişken giriş değerlerine göre en uygun çıkış değerini verebilen, insansız kontrolü sağlayabilen bulanık mantık (BM) algoritmali programlanabilir mantık denetleyicinin (PLC, programmable logic controller) kullanıldığı ve sistemin takip edilip verilerinin saklanabildiği bir kontrol sistemi tercih edilmiştir. Bu amaçla Kayaboğazı barajındaki mevcut su potansiyelinden maksimum güç

elde etmek için uygun bir algoritma oluşturulmuştur. Birden fazla ve farklı güçlerde türbin(ler)in kullanılmasının enerji üretimini olumlu yönde etkileyeceği ve böylece farklı güçlerdeki türbinlerin farklı kombinasyonlarda kullanımları ile arz ve talep dengesine göre optimum enerji üretimi sağlanacağı düşünülmüştür (Kurt, H. ve Aslan, Y., 2012, Adzic E., 2009, Guler, I., 2008).

Yapılan çalışmadaki kontrol sisteminde, su debisi ve yük akımı iki giriş değişkenini, kontrolü sağlanacak türbin(ler) de çıkış olarak uygun BM algoritmayı oluşturmada kullanılmıştır. BM algoritmali PLC ile yapılan kontrol sisteminde, değişken giriş değerlerine göre uygun güçteki türbin(ler)i devreye alma ve devreden çıkarma işlemi insansız bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Türbinlerin faaliyetleri uzaktan takip edilip gerekli veri saklama işlemi de sağlanmıştır.

Literatürde de BM algoritmali çalışmalar oldukça fazla olup, mühendislik alanları, sosyal konular, ekonomi, sağlık hatta eğitim alanlarında birçok çalışma bulunmaktadır. Bunun da temel sebebi, bulanık algoritmada sayısal verilerin sözel olarak ifade edilebilmesi ya da sözel ifadelerin yerine sayısal verilerin kullanılıp gerekli hesaplamaların ve sistem eğitiminin rahatlıkla yapılabilmesi olarak değerlendirilebilir. Özellikle mühendislik alanları ile ilgili yapılan çalışmalarda yüksek verimlilik hedefi diğer bir ifadeyle optimizasyon, BM algoritmali çalışmaların amacını oluşturmuştur.

BM algoritmali otomasyon çalışmalarında temel sistem bileşeni olarak genellikle PLC cihazları kullanılır. PLC, endüstriyel otomasyon ve enerji sistemlerindeki sıra denetimi, hareket denetimi, süreç denetimi ve veri yönetimi uygulamalarındaki yaygın kullanımı, ayrıca kullanım kolaylığı, taşınabilirliği, montajı, haberleşmeye uygunluğu, az arızalanması ve ucuzluğu gibi nedenlerden dolayı BM algoritmali denetleyici olarak tercih edilmektedir. Bu tür kontrol gerçekleştirilirken PLC'nin içinde gömülü olan bulanık işlemci diğer bir ifadeyle BM bloktan faydalanılır ve bu şekilde bulanık algoritma temelli gerekli kontrol algoritması oluşturulur. BM bloklu PLC'nin olmadığı durumlarda da PLC programı BM algoritmaya uygun bir şekilde yazılmak suretiyle yine BM temelli bir denetim gerçekleştirilebilir (Kurt, H. ve Aslan, Y., 2012, Aslan, Y. ve Türe, Ş., 2011).

Literatürde BM ile yapılan çeşitli optimizasyon çalışmaları, PLC ve merkezi denetim ve veri toplama sistemi (SCADA, Supervisory Control And Data Acquisition) ile çeşitli endüstriyel otomasyon çalışmaları mevcuttur. Ancak PLC'nin BM kontrolör olarak kullanıldığı çalışmalar oldukça azdır. Bu çalışmalar, BM algoritmali çalışmalar, PLC ve SCADA ile

yapılan otomasyon çalışmaları ve BM algoritmali PLC ile kontrol çalışmaları şeklinde üç kısımda özetlenmiştir.

1.1. BM Algoritmali Çalışmalar

Adzic ve arkadaşları tarafından rüzgâr türbini uygulamasında alternatör hızının BM ile kontrolü yapılmıştır. Bu çalışma ile rüzgârdan maksimum gücün elde edilerek dağıtım şebekesine aktarılması hedeflenmiştir. Elektriki tork ve rotor hızında kontrol sağlanmış, ayrıca reaktif güç kompanzasyonu yapılmıştır. Bu çalışmada BM kontrol algoritmasının benzetimi, MATLAB-SIMULINK ortamında ayrıntılı olarak gerçekleştirilmiştir (Adzic E., 2009)

Lah ve arkadaşları, iç aydınlatmada gün ışığından tam olarak yararlanmak için gün ışığı verimini incelemişler, bu amaçla hareketli bir panjuru BM ile kontrol etmişlerdir. Çalışmalarında binalarda iç aydınlatmanın önemli ve stratejik olduğu belirtilmiştir. Böyle bir çalışma için yerel hava koşulları ve binanın bulunduğu konum ve ortamla ilgili olarak iyi bir bilgiye ihtiyaç olduğu ve ilgili çalışmanın oldukça zor bir ayar gerektirdiği vurgulanmıştır (Lah, M. T., 2005).

Franco ve arkadaşları tarafından bir endüstriyel soğutma tesisinin BM algoritmali kontrolü yapılmış. Bu şekildeki soğutma tesislerinde elektrik sarfiyatının en aza indirilmesi ve en verimli şekilde kullanılmasında BM algoritmali kontrol gerçekleştirmenin gelişen sektörde çok etkili olduğu belirtilmiştir (Franco, I.C., 2011).

Zhang ve arkadaşları tarafından süpermarket uygulamasında ticari binaların enerji yönetimi incelenmiş, elektrik faturası ve CO₂ emisyonu azaltmak için PV (fotovoltaik) ve depolama sistemleri kullanılmıştır. Hafta içi günler, gün ışığının ve enerji ihtiyacının fazla olduğu saatler ile hafta sonu, gün ışığının ve enerji ihtiyacının da az olduğu saatler göz önünde bulundurularak örnek bir ticari binada enerji yönetimi BM algoritmali kontrolör ile gerçekleştirilmiştir. Oldukça karmaşık olan enerji yönetimi BM ile çözümlenmiştir (Zhang, H., 2012).

Omid ve arkadaşları tarafından biçerdöver ile yapılan hasatta saman ve tahıl kayıplarını en aza indirmek için insan deneyimlerini karşılayan ve otomatik ayar yapan BM tabanlı biçerdöver kontrolü tasarlanmıştır (Omid, M., 2010).

Zidani ve Said indüksiyon motorlarda doğrudan tork kontrolünü BM tekniğine dayalı geliştirmişlerdir. Genellikle direk tork kontrol (DTK) sürücülerine ilişkin önemli sorun yüksek tork dalgalanmaları olduğu vurgulanmış, bu sorunu aşmak için BM tabanlı değişken genlikli bir tork histerezis bant önerilmiştir. Önerilen bulanık denetleyicinin, tork ve akı dalgalarının

azaltılması ve özellikle düşük hızlı DTK'lerin performansını artırmak için uygun olduğu gösterilmiştir. Bulanık denetleyici ile sensörsüz, hızlı DTK sürücü yapılmıştır. Bulanık kontrol ile minimum anahtarlama kaybı ve indüksiyon motorun çalışması sağlanmıştır (Zidani, Z. and Said, R. N., 2005).

Peri ve Simon tarafından diferansiyel tahrik mobil robotların hareketini kontrol etmek için bir BM denetleyici yapılmıştır. Duvar izleyen bir bağımsız robotun programı daha öncesinde MATLAB'da BM algoritması ile yazılmış ve optimize edilmiş daha sonra 16F877 PIC ile C dilinde programlanmıştır. Önerilen bulanık kontrol performansını test etmek için bir mobil robot üzerinde benzetimi gerçekleştirilmiştir. Bu robotun giriş verileri ultrasonik sensörler ile sağlanıp bu veriler robot üzerindeki kartta işlenmiştir. Mobil robotun verimli bir şekilde pozisyonu aldığı ve x-y kartezyen düzlemde ilk konfigürasyona ulaştığı görülmüştür. BM denetleyicinin özerk bir mobil robotun hareketini kontrol etmek için gerçek zamanlı olarak uygulanabilir olduğu ve posta teslimi, afet bölgelerinde binaların aranması, özerk araba, vb. uygulamalarında kullanılabileceği belirtilmiştir (Peri, V. M. and Simon, D., 2013).

Ichtev ve Puleva tarafından yapılan çalışmada Bulanık Takagi-Sugeno modeli ile hidro türbin kontrolü çalışılmıştır. Olasılıklar ve yerel değerler üzerine eğitim gerçekleştirilmiş, hidro türbin jeneratörlerinin yumuşak ve dinamik bir şekilde devreye alınması üzerine sistem oluşturulup benzetimi yapılmıştır (Ichtev, A. and Puleva, T., 2008).

Kazu ve Özdemir tarafından yapılan çalışmada öğrencinin bireysel özelliklerine göre BM sayesinde hangi öğrenme stiline olduğunu kesin ifadelerle ve tek öğrenme stili ile öğreniyormuş gibi bir sonuca varmanın yanlış olduğu üzerinde durulmuştur. Çalışmada kişinin birçok öğrenme stiline belirli oranlarda sahip olabileceği düşünülmelidir sonucuna varılmıştır. Bir yapay zekâ türü olan BM algoritmaları ile öğrenme stillerinin kesin çizgiler arasına sıkışmaktan çıkıp daha esnek sınırlar içerisinde ortaya çıkacağı belirtilmiştir. BM algoritmasından geçerek bulunan öğrenme stili türü ile öğrenme yaşantısının düzenlenmesinde belirli bir kriterle bağımlı şekilde yönlendirme yerine, seçilecek üyelik fonksiyonlarının türüne göre onlarca hatta yüzlerce kriterin göz önüne alınacağı bir çalışma yapılabileceği belirtilmiştir (Kazu, İ. Y. ve Özdemir, O., 2009).

Murat ve Uludağ tarafından Denizli İlinin örnek alınan bir bölgesinde trafik akışı ile ilgili yapılan çalışmada BM algoritmasından faydalanılmıştır. Yapılan anket çalışması sonucu elde edilen gerçek veriler kullanılarak çalışma bulanık olarak modellenmiştir. BM modelinde, geçki seçim davranışı üzerinde etkili olan en önemli dört parametre; yolculuk süresi, trafik güvenliği, tıkanma olasılığı ve çevresel etki değerlendirmeleri dikkate alınmıştır. Geçki seçim

davranışındaki belirsizlikleri modelleyebilmek amacıyla BM kabullerinden yararlanılmıştır. Geliştirilen BM geçki seçim modeli, lojistik regresyon modelleri ile karşılaştırılmış ve gerçek değerlere en yakın sonuçlar BM modeli ile elde edilmiştir (Murat, Y. Ş. ve Uludağ, N., 2008).

1.2. PLC Ve SCADA İle Yapılan Otomasyon Çalışmaları

Yılmaz ve Sarıtaş tarafından yapılan çalışmada ekmek üretim hattının kontrolü PLC ile sağlanmıştır. Ekmek üretim hattındaki çoğu karmaşık işlevler PLC'ler sayesinde basite indirgenmiş, böylece hatlarda meydana gelen arızalar azalmıştır. Ayrıca PLC sistemleri ile işçi sayısı ve yakıt tüketimi azalmış, hijyenik ekmek üretimi sağlanmış, ekmek maliyeti düşmüş ve kalite yükselmiştir (Yılmaz, H. ve Sarıtaş, M., 2013).

Bayındır ve Çetinceviz tarafından yapılan su pompası otomasyonu ile ilgili deneysel çalışmada PLC ile haberleşme kablosuz yapılmış ve otomasyon sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada özellikle kablo masrafından yapılan tasarruf üzerinde durulmuştur (Bayındır, R. ve Çetinceviz, Y., 2010).

Mirzaoglu ve Sarıtaş tarafından orta ölçekli bir irmik fabrikasının değirmen kısmında kapasite artırımına paralel olarak elektrik, kontrol ve kumandasında yenileme çalışmaları yapılmıştır. İyi tasarlanmış ve iyi programlanmış PLC ve SCADA sistemleri kullanarak, irmik üretim sisteminin altı önemli üretim biriminde yenileme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Böylece irmik kalitesi artmış, üretim maliyeti düşmüştür (Mirzaoglu, İ. ve Sarıtaş, M., 2013).

Bayındır ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, su depolama tankları için PLC kontrollü bir izleme ve kontrol yöntemi önerilmiştir. Klasik kumanda sistemlerinde kullanılan röleler, kontaktörler, sayıcılar ve dönüştürme kartlarının geliştirilen sistemde kullanılmamasının sistemin kurulum maliyetini azalttığı ifade edilmiştir. Buna ilaveten sistemde basınç, sıcaklık ve sıvı seviyesi bilgisinin anlık olarak bilgisayar üzerinden izlenebilmesi, sistemin görsel olarak takip edilebilmesi ve olası bir arızanın uyarı mesajlarıyla daha kolay tespit edilebilmesi SCADA ile sağlanmıştır. Yapılan deneysel çalışma, geliştirilen sistemin daha az maliyetli, hassas ve klasik metot kadar güvenilir olduğunu göstermiştir (Bayındır, R., 2011).

Ada ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada bir gümüş işleme tesisinde revizyona gidilerek, dağıtılmış kontrol sisteminden (DKS) PLC-SCADA kontrol sistemine dönüştürülmesi irdelenmiştir. Bunun gerekçesi olarak da DKS'nin ihtiyaçlara cevap veremediği, sürekli arızaların çıktığı ve sistemin takip edilmesinin zorlaştığı vurgulanmıştır. Yeni kontrol sisteminde tercih edilen PLC'nin DKS gibi yeterli kontrol yeteneğine sahip olması, PLC CPU'larının ve analog modüllerinin üretim süreci hızlarının daha iyi olduğu ve DKS

kontrol algoritmasının PLC'nin PID bloğunda rahatlıkla işlenebildiği vurgulanmıştır. Tesiste dağıtılmış operatör konsol (DOK) ünitelerine göre çok daha fonksiyonel ve görsel kabiliyete sahip olan SCADA sistemi kurulmuştur. SCADA'da PLC'ler ile haberleşme için modbus+ protokolü kullanılmış, tümüyle yedekli çalışan ana kontrol odasında bulunan SCADA sistemi ile tüm tesis kontrol edilecek şekilde tasarlanmıştır. SCADA sisteminin eşzamanlı olarak ve veri kaybı olmaksızın 10000 adet veriyi kaydettiği belirtilmiştir. Yapılan değişikliklerle ortalama 250 saat/yıllık (1995-1999) kontrol sisteminden kaynaklanan üretim duruşları olurken, bu üretim duruşları neredeyse sıfırlanmıştır. Maliyetin 3000 dolar/saat olduğu tesiste yapılan değişikliğin kendi maliyetini bir yıl gibi kısa sürede karşıladığı vurgulanmıştır (Ada, N., Aslan, Y., Tunaboğlu, S., 2003).

1.3. BM Algoritmali PLC İle Kontrol Çalışmaları

Da Ruan ve Van der Wal tarafından yapılan çalışmada, nükleer santrallerde BM ile kontrolün çok riskli olduğu fakat insan deneyimini eklemek adına olması gereken bir uygulama olduğu belirtilmiştir. Nükleer reaktör güç seviyesi kontrolünde BM denetleyicinin de kullanılabilir bir alan olduğu üzerinde durulmuştur. Nihai amacın optimize edilmiş ve kendinden güvenli denetleyici geliştirmek olduğu belirtilmiştir. Belçika nükleer araştırma merkezinde, Belçika'nın ilk nükleer santralinin (BR1) bir PLC tabanlı donanım kontrolü için test yeri olarak kullanıldığı belirtilmiş, bu test ve deneyler sonucu elde edilen veriler tartışılmıştır. Bulanık kontrolör olarak da BM birimi olan Omron marka PLC'nin C200HS-CPU21-E modeli kullanılmıştır. Sonuçta BM algoritmali denetleyicilerin, klasik denetleyiciler kadar kararlı bir kontrol sağladığı belirtilmiştir (Da Ruan and van der Wal, A., 1998).

Özdemir ve Orhan tarafından yapılan çalışmada prototipi olan bir mikro hidroelektrik santralin kontrolü, Siemens marka PLC'nin BM birimi olan S7-300 modeli ile gerçekleştirilmiştir (Özdemir, M. T. ve Orhan, A., 2012).

Saad ve Arrofig tarafından indüksiyon motorun devir kontrolünün benzetimi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada bir sürücü yerine BM birimi olan bir PLC ile sabit V/Hz oranı sağlanarak minimum hatalarla devir kontrolü gerçekleştirilmiştir. Buradaki devir kontrolünün önemi ise hassas devir ayarı gereken yerlerden örnek verilerek belirtilmiştir (Saad, N. and Arrofig, M., 2011).

Aydoğmuş tarafından Siemens marka PLC'nin düşük maliyetli S7-200 modeli ile sıvı seviye kontrolü BM algoritma ile sağlanmıştır. Aynı zamanda SCADA ile sistem takibi gerçekleştirilmiş ve çalışmanın benzetimi yapılmıştır (Aydogmus, Z., 2009).

Yılmaz ve arkadaşları tarafından bir taşıyıcı sistemin hız kontrolü, BM birimi olan OMRON marka C200H-FZ001 model PLC ile gerçekleştirilmiştir (Yılmaz, S., 1999).

Özçalık ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada katı yakıtlı buhar kazanında, kömürün yanması için gerekli olan taze hava miktarının kontrolü BM birimi olan PLC ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma ile buhar kazanının ihtiyacı olan kömür miktarı azaltılmış ve verimli yanması sağlanmıştır. Buhar kazanının ürettiği buharın işlenmesi rastgele olmakla birlikte böyle sistemlerin lineer olmadıklarından dolayı BM algoritmali bir denetim sisteminin tercih edilmiştir (Özçalık, H. R., 2008).

Karakuzu ve Öztürk tarafından yapılan BM algoritmali çalışmada alternatif akım motorunun çok kısa sürede istenilen devir değerine ulaştığı ve bu değerde kaldığı deneysel olarak gösterilmiştir. Yapılan çalışmada BM birimi olan OMRON marka PLC'nin C200HS-CPU21-E modeli kullanılmıştır (Karakuzu, C. ve Öztürk, S.,2013).

2. BULANIK MANTIK

Günlük hayatta rastgele kullandığımız birçok terim genellikle bulanık bir yapıya sahiptir. Bir şeyi tanımlarken, bir olayı açıklarken, komut verirken ve daha birçok durumda kullandığımız sözel veya sayısal ifadeler bulanıklık içerir. Bu terimlere örnek olarak; yaşlı, genç, uzun, kısa, sıcak, soğuk, ılık, bulutlu, parçalı bulutlu, güneşli, hızlı, yavaş, çok, az, biraz, fazla, çok az, çok fazla gibi daha pek çok sözel terim gösterilebilir. Günlük hayatta bir olay anlatılıp, bir durum karşısında karar verilirken bu tür kesinlik ifade etmeyen terimler kullanılır. Kişinin yaş durumuna göre ona yaşlı, orta yaşlı, genç, çok yaşlı ve çok genç denilir. Yolun kayganlık ve rampa durumuna göre arabanın gaz veya fren pedalına biraz daha yavaş veya biraz daha hızlı basılır. Odanın ışığı yetersiz ise biraz artırılır, yeterinden fazla ise biraz azaltılır. Bütün bunlarla, belirsiz ve kesinlik içermeyen durumlarda insan beyninin nasıl davrandığı ve olayları nasıl değerlendirdiği, tanımlayıp, komut verdiği açıklanabilir (ALTAŞ, İ.H., 1999).

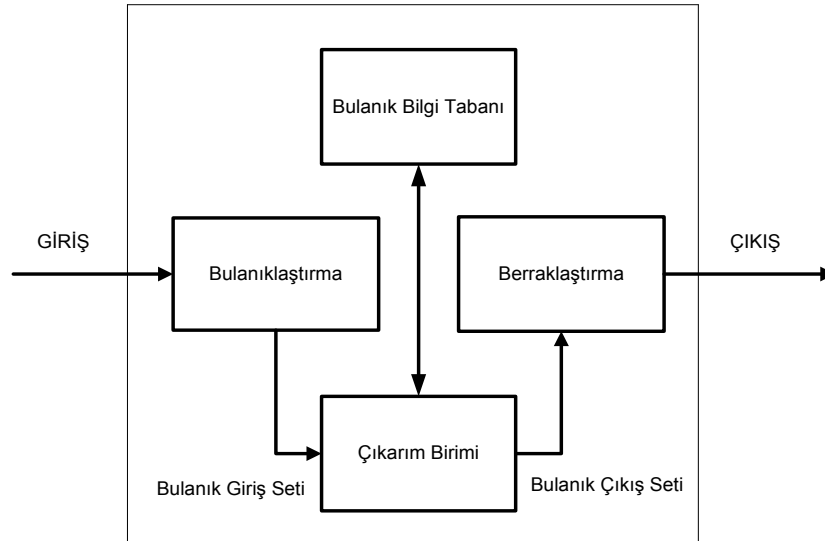
Bulanık mantığın ve bu mantık kurallarını kullanan bulanık küme teorisinin Lotfi A. Zadeh tarafından geliştirilip 1965 tarihli 'Fuzzy Sets' isimli makalesinde yayınlanmasından sonra belirsizlik içeren sistemlerin incelenmesi yeni bir boyut kazanmıştır. 1965'de ortaya atılmasına rağmen, bulanık küme kavramı ancak 1970'li yılların ikinci yarısından sonra kullanılmaya başlanmıştır. Bunda özellikle Zadeh'in 1965 deki ilk makalesinden daha fazla etkili olan ve bulanık mantığın belirsizlik içeren sistemlere uygulanabilirliğini açıklayan makaleleri etkili olmuştur. 1980'li yılların ikinci yarısından sonra Japonların ürünlerinde bulanık mantığı kullanmalarıyla da hız kazanarak günümüzdeki doruk noktasına gelmiştir. Giriş bölümünde örnekleri verildiği üzere mühendislik alanlarından sosyal ve eğitim alanlarına kadar artık hemen her alanda BM uygulamalarına rastlamak mümkün hale gelmiştir (ALTAŞ, İ.H., 1999, Zadeh, L.A., 1965, 1973, 1975, Işıklı, Ş., 2013, Som, A., 2010, <http://www.cs.berkeley.edu/~zadeh>).

Mühendislikte bulanık mantığın uygulama alanlarından bazıları:

- Otomatik Kontrol Sistemleri: Robotik, otomasyon, akıllı denetim, izleme sistemleri, ticari elektronik ürünler, vb.
- Bilgi Sistemleri: Bilgi depolama ve yeniden çağırma, uzman sistemler, bilgi tabanlı sistemler, vb.
- Görüntü Tanımlama: Görüntü işleme, makine görüntülemesi.
- Optimizasyon: Fonksiyon optimizasyonu, süzgeçleme, eğri uydurma, vb.

Bulanık mantığın Mamdani ve arkadaşları tarafından denetim sistemlerine ilk uygulanmasından sonra bu alanda oldukça önemli adımlar atılmaya başlanmıştır. Öyle ki denetim sistemleri BM'in en fazla uygulandığı alan olarak günümüze kadar gelmiştir (ALTAŞ, İ.H., 1999, Mamdani, E.H., 1975, 1975, 1976).

Klasik denetim sistemlerinin aksine, sistemin matematiksel modeline gerek duymadan, sadece istenilen çıkışı verecek şekilde giriş birimleri ayarlandığından, bulanık denetimin işlemesi tıpkı usta bir insanın o sistemi denetlemesine benzer. Yani BM ve bulanık küme işlemleri kullanılarak makinelerin insanlar gibi kararlar vermesi sağlanabilir. Bulanık mantığın bu uyumluluğunun yapay sinir ağları veya genetik algoritmalarla desteklenmesi sonucu nöral-bulanık (İngilizce literatürde bu konu artificial neural networks and fuzzy logic, neuro-fuzzy logic, ve neural fuzzy logic terimlerinden birisi ile ifade edilir) sistemler, veya genetik-bulanık sistemler ortaya çıkmıştır. Böylece akıllı (intelligent) sistemler de hızlı bir gelişme kaydetmeye başlamıştır (ALTAŞ, İ.H., 1999, Işıklı, Ş., 2013, Som, A., 2010, <http://www.cs.berkeley.edu/~zadeh>, Mamdani, E.H. 1975, 1975, 1976, Liu, C., 1997, Li, K.K., 1999, J.S.R. Jang, 1996, Lin, C.T. and Lee, C.S.G., 1996, Yen, 1999, El-Hawary, M.E., 1998, Yen, 1995, Zurada 1994, Gupta and Sinha, 1996).



Şekil 2.1. Bulanık Sistem ve Çalışma Yapısı (ALTAŞ, İ.H., 1999).

Bulanık sistem, optimum çıkışı elde etmek için genel olarak giriş bilgilerinin 0-1 aralığında set değerlerine dönüşmesiyle başlar. Daha sonra bilgi tabanına göre gerekli çıkarımlar sağlanarak oluşturulan kural tabanına göre uygun çıkış için set değerleri oluşturulur.

Bulanık sistemde bilgi tabanı, karar verme biriminin kural tabanında da kullanılan bilgileri aldığı veri tabanı (data base) ve denetim amaçlarına uygun dilsel denetim kurallarının bulunduğu kural tabanı (rule base) olmak üzere iki kısma ayrılabilir. Genel olarak da uygulama dönemindeki bilgilerden ve denetim amaçlarından oluşur. Bilgi tabanından dilsel denetim kurallarının tanımlanmasında ve BM denetimindeki bulanık bilgi işleme süresince yararlanılır. Kurallar kümesi denetimin amaçlarını, sürecini ve stratejisini belirler. Denetimi yapılan sistemle ilgili, bulanıklaştırma, bulanık çıkarım, berraklaştırma işlemleri sırasında gerek duyulan üyelik işlevi ve kural çizelgesi bilgileri veri tabanından (data base) kullanıma sunulur (Elmas, Ç., 2007).

Kısaca bilgi tabanı, kural çizelgesinin yer aldığı, verilerin saklandığı kısımdır. Şekil 2.2’de trafik ışıklarına göre araç hız kontrolü örneğinde bulanık eğitime kısaca değinilmiştir (Yalçın, N., 2013).



Şekil 2.2. Trafik ışıklarına göre araç hız kontrolü örneği (Yalçın, N., 2013).

- ✓ Eğer ışık kırmızı ve hız yüksek ise fren yap,
- ✓ Eğer ışık kırmızı, hız düşük ve kavşak uzak ise hızı koru,
- ✓ Eğer ışık sarı, hız orta ve kavşak uzak ise fren yap,
- ✓ Eğer ışık yeşil, hız çok düşük ve kavşak çok yakın ise hızlan vb. şeklinde bilgi tabanı oluşturulur, sistem eğitilir.

Gerçek hayattaki sistemlerin hemen hiçbiri doğrusal değildir. Alışlagelen tasarım yöntemlerinde doğrusallaştırma yaparken farklı yöntemler kullanılmıştır. Örneğin; doğrusal, parçalı doğrusal ve el altı tabloları kullanarak karmaşıklık, maliyet ve sistem performansını olumsuz yönde etkileyen faktörler giderilmeye çalışılmıştır. Şekil 2.1. ve Şekil 2.2.’de de görüldüğü gibi BM gerçek dünyaya daha yakın olduğundan, doğrusal ve doğrusal olmayan sistemlerin denetiminde kullanılan alternatif bir yaklaşım olmuştur. Sistemlerin doğrusal olmayan karakteristikleri kurallar, üyelik fonksiyonları ve sonuca varma işlemi ile temsil edilir. BM yaklaşımının kullanılmasıyla sistem performansı artar, uygulama basitleşir ve mali giderler azalır. BM ile gerçek sisteme daha yakın ve doğal bir kural tabanı kullanılarak yapılan denetim

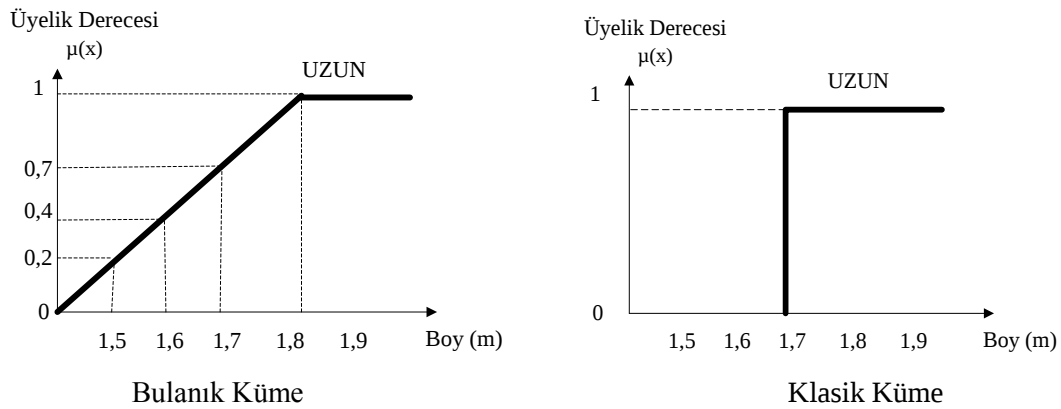
ile alışlagelmiş yöntemlere göre daha iyi biçimde kontrol gerçekleştirilebilir. Bu durumda sistem performansı mükemmel bir şekilde iyileştirilip daha etkili ve duyarlı bir denetim elde edilebilir. BM tabanlı bir denetleyicinin kuralları, doğrusal olmayan özellikleri de dikkate alarak, çok sayıdaki girişi tekli if then sözel ifadeleriyle birleştirip uygulamayı basitleştirir. Ayrıca, BM kullanılarak, çıkış büyüklüğü VE (AND) gibi işlemcilerle birbirine bağlanmış iki veya daha fazla girişin bir fonksiyonu olarak ifade edilebilir. Girişlerle çıkış arasındaki bu ilişki kurallardan oluşan bir tablo ile de gösterilebilir. Bu kural tablosu, el altı tablolarından farklıdır. Her bir giriş değişkeni için gerekli tanım sayısına bağımlı olan el altı tablolarına karşın, bulanık yaklaşım önemli ölçüde az giriş gerektirir. Ayrıca kurallar daha kolay geliştirilip, programa daha basitçe entegre edilip daha kolay ayarlanabilirler. Aptronix Inc. tarafından geliştirilen iki girişli bir ısı kontrol sisteminde el altı tabloları kullandığında 64 Kb'lık bir hafıza gerekirken, BM kullanıldığında sadece 0.5 Kb'lık bir hafıza yeterli olmuştur. Gereken hafıza farkı da gösteriyor ki, bulanık mantıkla daha az malzemeye ihtiyaç duyulur. Bu da denetimin gerçekleşmesini daha basit ve daha ucuz kılar (ALTAŞ, İ.H., 1999, <http://www.aptronix.com/fuzzylogicnet>).

Karmaşıklık ve belirsizlik içeren büyüklükler, bulanık sayılar olarak da isimlendirilebilen ve bulanık kümeleri karakterize eden üyelik fonksiyonları ile tanımlanırlar. Bulanık sayılar, yine bulanık bir ortamda insan düşünce ve karar verme mekanizmasına benzer şekilde if ... then else biçimindeki önerme ve kural yürütme işlemlerine tabi tutularak yine bulanık bir sonuca varılır. Nasıl ki insan karşılaştığı bir problemi çözerken kafasındaki bilgi bankasını kullanıp bu bilgiler ışığında sonuca gidiyorsa, BM esaslarına göre işlem yapan bir sistemde de kendisine daha önceden öğretilen bilgileri kullanarak yeni durum hakkında bir sonuca varılır. Bu durum insan-makine iletişimine yeni bir boyut kazandırmıştır. Bulanık küme işlemleri kullanılarak bulanık modelleme tasarımı ve yazılımı gerçekleştirilir. Yaklaşık düşünme, yaklaşık neden olma ve yaklaşık sonuçlandırma anlamlarına gelen approximate reasoning bulanık işlemcilerin genel adı olup bulanık küme teorisini ifade eden bir tanımlamadır. Ancak BM daha çok kabul gören bir isimdir. Approximate reasoning ya da yaklaşık düşünme kavramı, BM ve bulanık küme teorisi ile desteklendiğinde BM reasoning ya da bulanık düşünme kavramını ortaya çıkarır. Yaklaşık düşünme genellikle günlük hayatta kullandığımız bazı sözlerle uygulanır. Örneğin biraz fazla, azıcık soğuk, oldukça yaşlı, vb. tanımlamalar yaparken kullanılan biraz, azıcık, oldukça gibi terimler yaklaşık ya da bulanık düşünceyi tanımlamaktadırlar. Fazla, soğuk ve yaşlı sözleri ise bulanık ifadedir ve bulanık kümelerle temsil edilip, BM işlemlerine tabi tutulabilirler. Yaklaşık ve bulanık düşünme

kavramları BM ile birlikte kullanılarak ifadelerin sınırları ve bulanıklığın kapsamı ayarlanabilir (ALTAŞ, İ.H., 1999).

Bulanık sistemlerin en temel elemanı bulanık kümedir. Bulanık bir küme, değişik üyelik yani ait olma derecelerine sahip elemanları olan bir küme türüdür. Böyle bir küme, elemanlarının her birine 0 ile 1 arasında üyelik değeri atayabilen bir üyelik fonksiyonu ile karakterize edilebilir. Kümeye dâhil olmayan elemanların üyelik değerleri 0, kümeye tam dâhil olanların üyelik değerleri de 1 olarak atanmaktadır. Kümeye dâhil olup olmadıkları belirsiz olan elemanlara ise belirsizlik durumuna göre 0 ile 1 arasında değerler atanır (ALTAŞ, İ.H., 1999, Işıklı, Ş., 2013, Som, A., 2010).

Klasik (ikili) mantık, iki doğruluk değeri olan (1 veya 0, var veya yok, doğru veya yanlış) bir mantık sistemidir ve üçüncü bir durumun gerçekleşmesinin imkânsız olduğu varsayılır. Ayrıca, ikili mantıkta kesin verilerden söz edilir. Bulanık mantık, ikili mantığın ele alamadığı bulanık hadiseleri de içine alacak şekilde daha geniş bir uygulama sahasına sahiptir. (Yalçın, N., 2013).



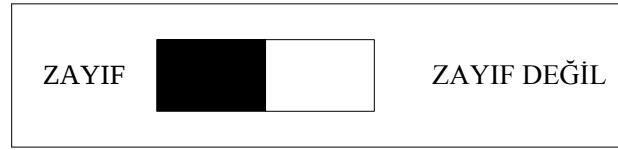
Şekil 2.3. Boy uzunluğu örneğinde bulanık ve klasik küme (Yalçın, N., 2013, Elmas, Ç., 2007).

Şekil 2.3.'deki uzun kümesine bakıldığında klasik kümede 1,7 metrenin üzeri uzun, aşağısı kısa olarak görülür. Yani 1,71 metre uzun, 1,69 metre kısadır. Bulanık kümede ise klasik kümede olduğu gibi uzunluk net olarak belirlenmemiş ve uzunluk değeri 0 ile 1 arasında değerlendirilmiştir (Yalçın, N., 2013).

Şekil 2.4.'deki zayıflık örneğinde klasik mantığa göre;

Mehmet zayıftır → 1

Mehmet zayıf değildir → 0 şeklinde ifade edilir.



Şekil 2.4. Zayıflık örneğinde klasik mantık yaklaşımı (Yalçın, N., 2013).

Şekil 2.5.'deki zayıflık örneğinde BM'a göre;

Mehmet çok zayıftır → 0,95

Mehmet biraz zayıftır → 0,25 şeklinde ifade edilir.



Şekil 2.5. Zayıflık örneğinde BM yaklaşımı (Yalçın, N., 2013).

3. PLC ve SCADA

PLC, dış algılayıcılardan aldığı bilgiyi kendine yüklenen programa göre işleyen ve iş elemanlarına aktaran mikro işlemci tabanlı bir cihazdır. PLC'ler, endüstriyel otomasyon sistemlerinin kumanda ve kontrol devrelerine uygun yapıda giriş-çıkış birimleri ve iletişim arabirimleri ile donatılmış, SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) sistemi ile uyumlu çalışan sanayi tipi bilgisayarlardır.

SCADA kullanılarak bir otomasyon sisteminin işleyişi görüntülenerek kontrol ve kumandası gerçekleştirilebilir. SCADA sistemleri, endüstriyel üretim süreçlerinde, telekomünikasyonda, taşımacılıkta, enerji santrallerinde ve füzyon gibi bilimsel deneylerin kontrolünde kullanılmaktadırlar. SCADA sistemleri yüzbinleri bulan giriş/çıkış sayılı üretim süreçlerini kontrol edebilmektedir (Mirzaoglu, İ. ve Sarıtaş, M., 2013).

3.1. PLC

Günümüz otomasyon çağı olmakla birlikte, imalat ve işletme endüstrilerinde endüstriyel kontrol sistemlerine olan talep büyük bir önem kazanmıştır. Çünkü otomatik kontrol sistemleri sayesinde hız, güvenlik, kullanım esnekliği, ürün kalitesi ve personel sayısı bakımından işletmelere çeşitli avantajlar sağlanmıştır. Bu avantajları sağlayan en etkin sistem PLC veya PC tabanlı kontrol sistemleridir. PLC'li denetimde sayısal olarak çalışan bir elektronik sistem, endüstriyel çevre koşullarında tasarlanmıştır. Bu elektronik sistemin sayısal veya analog giriş/çıkış modülleri sayesinde, makine veya işlemlerin birçok çeşidi kontrol edilmektedir. Bu amaçla PLC, mantık, sıralama, sayma, veri işleme, karşılaştırma ve aritmetik işlemler gibi fonksiyonları programlama desteğiyle girişleri değerlendirip çıkışları atayan, hafıza, giriş/çıkış, CPU ve programlayıcı bölümlerinden oluşan, otomasyon devrelerinde yardımcı röleler, zaman röleleri, sayıcılar gibi kumanda elemanlarının yerine kullanılan mikroişlemci temelli entegre bir cihazdır. Bu cihazlar ile zamanlama, sayma, sıralama ve her türlü birleşimli ve ardışık lojik işlemler gerçekleştirilebilir. Bu nedenle karmaşık otomasyon problemlerini PLC'ler ile hızlı ve güvenli bir şekilde çözmek mümkündür. PLC'lerin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Yılmaz, H., 2013, Bayındır, R., 2010, 2011, Aslan, Y. 2011, Mirzaoglu, İ., 2013, Ada, N., 2003, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/, Acielma, F., 2005, Özdamar, C.) ;

- PLC'ler daha kolay tasarlanırlar ve güvenilirlerdir.
- PLC'ler daha az yer tutar ve daha az arıza yaparlar, arıza aralığı ortalama 8000 saattir.

- PLC'ler yeni bir uygulamaya daha çabuk adapte olurlar, donanım değiştirilmez sadece yazılım da değişiklikle yeni uygulamaya geçilebilir.
- PLC'ler kötü çevre şartlarından kolay etkilenmezler, bakımları kolaydır.
- PLC'ler daha az kablo bağlantısı isterler.
- PLC'lerin hazır fonksiyonları kullanma imkânı vardır.
- PLC'lerin bilgisayarla ve diğer kontrolörle haberleşme olanağı vardır, bu özelliği bilgisayarlı otomasyon işlemine olanak sağlar.
- PLC'lerin giriş ve çıkışların durumları izlenebilir, arıza aramayı kolaylaştırır şeklinde sıralanabilir.

İmalat sanayi, tarım, enerji üretimi, kimya sanayi vb. endüstrinin tüm alanlarında kullanılan PLC'lerin genel uygulama alanları şunlardır;

Sıra Kontrol:

PLC'lerin en büyük ve en çok kullanılan ve sıralı çalışma özelliğiyle röleli sistemlere en yakın olan uygulamasıdır. Uygulama açısından, bağımsız makinelerde ya da makine hatlarında, konveyör ve paketleme makinelerinde ve hatta modern asansör denetim sistemlerinde kullanılmaktadır (Yılmaz, H., 2013, Bayındır, R., 2010, 2011, Aslan, Y. 2011, Mirzaoglu, İ., 2013, Ada, N., 2003, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/, Acıelma, F., 2005, Özdamar, C.).

Hareket Kontrolü:

Doğrusal ve döner hareket denetim sistemlerinin PLC'de tümleştirilmesidir. Servo adım ve hidrolik sürücülerde kullanılabilen tek ya da çok eksenli bir sistem denetimi olabilir. PLC hareket denetimi uygulamaları, sonsuz bir makine çeşitliliği ve çoklu hareket eksenlerini kontrol edebilirler. Bunlara örnek olarak; Kartezyen robotlar, film, kauçuk ve dokunmamış kumaş tekstil sistemleri gibi ilgili örnekler verilebilir (Jang, J.S.R., 1996, Lin, C.T., 1996, Acıelma, F., 2005, Özdamar, C., http://www.yildiz.edu.tr/~inan/Scada_Nedir.htm, Öcalan, G., 2005, Aslan, Y., 2008, Paish, O., 2002).

Süreç (Üretim kontrolü) Denetimi:

Bu uygulama PLC'nin birkaç fiziksel parametreyi (sıcaklık, basınç, debi, hız, ağırlık) denetleme yeteneğiyle ilgilidir. Bu da bir kapalı çevrim denetim sistemi oluşturmak için, analog

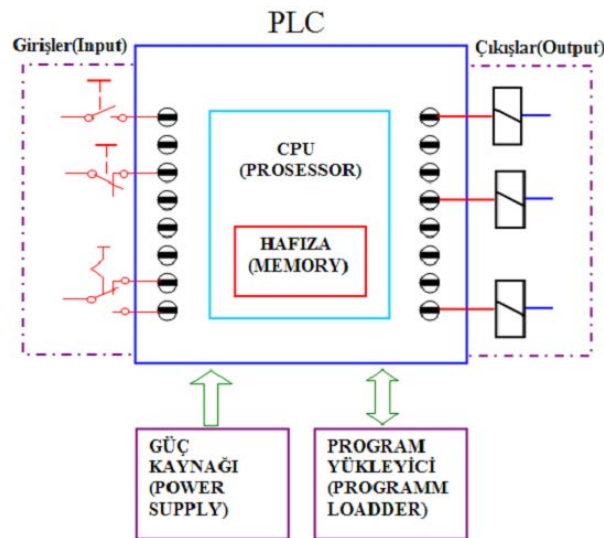
I/O (giriş/çıkış) gerektirir. Oransal, integral ve diferansiyel işlem (PID) yazılımının kullanımıyla PLC, tek başına çalışan çevrim denetleyicilerinin işlevini üstlenmiştir. Diğer bir seçenek de her ikisinin en iyi özelliklerini kullanarak PLC ile kontrolörlerin tümleştirilmesidir. Buna tipik örnek olarak plastik enjeksiyon makineleri ve ısıtma fırınları verilebilir (Yılmaz, H., 2013, Bayındır, R., 2010, 2011, Aslan, Y. 2011, Mirzaoglu, İ., 2013, Ada, N., 2003, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/, Acıelma, F., 2005, Özdamar, C.).

Veri Yönetimi:

PLC'ler denetlediği üretim süreci hakkında veri toplayıcı olarak kullanılabilir. Sonra bu veri, denetleyicinin belleğindeki referans veri ile karşılaştırılır ve rapor alımı için başka bir aygıta aktarılabilir. Bu uygulama da büyük malzeme işleme sistemlerinde ve kâğıt, metal ve yiyecek işleme gibi birçok üretim sürecinde kullanılır. PLC'nin bu özelliği ile BM algoritmali denetimde çok rahatlıkla kullanılabileceği söylenebilir. Çünkü BM temelli denetimde sistem eğitimi ve bu eğitime göre hareket stratejisinin belirlenmesi ön plana çıkmaktadır (Yılmaz, H., 2013, Bayındır, R., 2010, 2011, Aslan, Y. 2011, Mirzaoglu, İ., 2013, Ada, N., 2003, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/, Acıelma, F., 2005, Özdamar, C.).

PLC seçiminde dikkat edilecek hususlar da, giriş-çıkış sayısı, giriş-çıkış tipi (analog, dijital, AC, DC), programlama imkânları, çalışma hızı, sistem genişlemesi ve iletişim, çevre birimleri, üretici firma ve maliyet olarak sayılabilir.

3.1.1. PLC parçaları ve fonksiyonları



Şekil 3.1. PLC'yi oluşturan ana kısımlar (http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/).

PLC Şekil 3.1.'de, merkezi işlem birimi (CPU- Central Processing Unit), hafıza (hafıza elemanları), programlama makinası, güç katı, giriş-çıkış bölümünden oluşmakta, ayrıca PLC'de uyum devresi, analog giriş-çıkış birimleri, genişleme birimleri ve kartların takıldığı raflar olmak üzere toplam 9 birim bulunmaktadır (Yılmaz, H., 2013, Bayındır, R., 2010, 2011, Aslan, Y. 2011, Mirzaoğlu, İ., 2013, Ada, N., 2003, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/, Acıelma, F., 2005, Özdamar, C.).

CPU:

Bu birim işlemci, hafıza modülleri ve güç kaynağı arasındaki haberleşmeyi sağlar. CPU ifadesi işlemci ifadesi ile aynı anlamda kullanılmaktadır. İşlemci sürekli olarak makineyi veya üretim sürecini kontrol edecek olan programın derlenmesini ve icrası için hafıza ile karşılıklı haberleşme içindedir. CPU'nun büyük bir bölümünü oluşturan işlemci-hafıza birimi programlanabilir denetleyicilerin beynidir (Yılmaz, H., 2013, Bayındır, R., 2010, 2011, Aslan, Y. 2011, Mirzaoğlu, İ., 2013, Ada, N., 2003, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/, 2013, Acıelma, F., 2005, Özdamar, C.).

Hafıza:

Hafıza mikro denetleyicideki kontrol programını saklamaya yarar. Gerekli hafıza miktarına programın yapısı karar verir. PLC'lerde kullanılan hafıza tipi genellikle EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory) olarak adlandırılan silinebilir, programlanabilir, sadece okunabilir hafızalar kullanılmaktadır (Yılmaz, H., 2013, Bayındır, R., 2010, 2011, Aslan, Y. 2011, Mirzaoğlu, İ., 2013, Ada, N., 2003, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/, 2013, Acıelma, F., 2005, Özdamar, C.).

Programlayıcı:

Programlayıcı, kullanıcı ile denetleyici arasındaki haberleşmeyi ve PLC denetleme programının kullanıcı tarafından cihaza gönderilmesini sağlar. Bu terminaller kendi içerisinde gösterge ünitesi, klavye ve merkezi işlem birimi ile haberleşmeyi sağlayacak gerekli elektronik düzenekleri içerir (Yılmaz, H., 2013, Bayındır, R., 2010, 2011, Aslan, Y. 2011, Mirzaoğlu, İ., 2013, Ada, N., 2003, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/, 2013, Acıelma, F., 2005, Özdamar, C.).

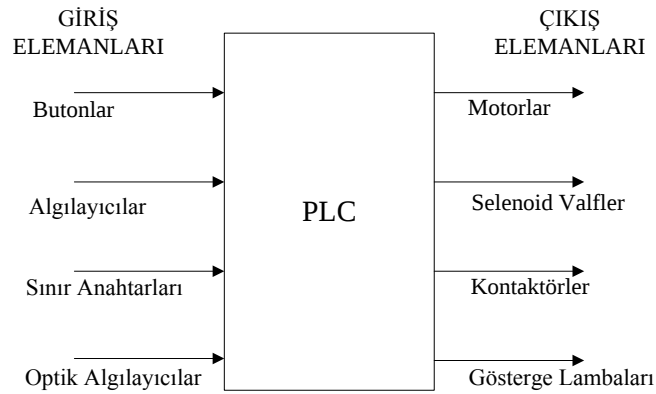
Güç Katı:

PLC içerisindeki elektronik devrelerin çalışması için gerekli seviyedeki gerilimi güç katı temin eder. Şebeke gerilimi 220 VAC veya 24 VDC olan tipleri mevcuttur. Bazı CPU'larda dâhili bir güç kaynağı bulunmakta olup bu kaynak CPU'nun kendisinin, genişleme

modüllerinin 5 VDC ve 24 VDC ve kullanıcının 24 VDC gereksinimini karşılamaktadır (Yılmaz, H., 2013, Bayındır, R., 2010, 2011, Aslan, Y. 2011, Mirzaoğlu, İ., 2013, Ada, N., 2003, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/, 2013, Acıelma, F., 2005, Özdamar, C.).

Giriş-Çıkış Bölümü:

Giriş modülü, kontrol edilen makinelerden, işlemciden veya dışarıdan bir anahtardan ya da algılayıcıdan aldığı sinyali kabul ederek kullanılmasını sağlar. Çıkış modülü, denetleyicinin, çıkıştaki makinenin ya da işlemin kontrolü için 5 VDC, 12 VDC veya 220 VAC 'lik çıkış sinyallerini sağlar. Bu çıkış sinyalleri ile optik izolatörler veya güç elektroniği elemanları kullanılarak yüksek akımların kontrolü sağlanır (Yılmaz, H., 2013, Bayındır, R., 2010, 2011, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/, Aslan, Y. 2011, Mirzaoğlu, İ., 2013, Ada, N., 2003, Acıelma, F., 2005, Özdamar, C.).



Şekil 3.2. PLC giriş-çıkış elemanları (http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/).

Uyum Devresi:

Otomasyon biriminin herhangi bir bölgesinde PLC 'ye ulaşan +24V giriş sinyalleri, giriş bölümünde opto-kuplör denilen optik bağlaçlar ile yalıtılarak +5V'a çevrilir. Çünkü CPU'daki işlemcinin çalışma gerilimi +5V'tur. Opto-kuplör düzeneği ile sistemlerin birbirleri ile hiçbir iletken bağlantısı olmaksızın, optik olarak (10Mhz'e kadar hızlılıkla) sinyal aktarılması sayesinde hassas ve pahalı olan sistem, güç ünitesinde olabilecek arıza ve tehlikelerden korunmuş olur. Ayrıca PLC'ler farklı giriş ve çıkış gerilimlerine de sahip olabilir (Yılmaz, H., 2013, Bayındır, R., 2010, 2011, Aslan, Y. 2011, Mirzaoğlu, İ., 2013, Ada, N., 2003, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/, Acıelma, F., 2005, Özdamar, C.).

Giriş Arabirimi	Çıkış Arabirimi
24 Vac/dc	12-48 Vac
48 Vac/dc	120 Vac
120 Vac/dc	230 Vac
230 Vac/dc	120 Vdc
5 Vdc (TTL seviyesinde)	230 Vdc

Şekil 3.3. Giriş ve çıkış gerilim değerleri (http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/).

Analog Giriş-Çıkış Birimleri:

Analog giriş modülleri, analog girişlerden alınan analog akım ve gerilim sinyallerini, analog –sayısal konverter sayesinde sayısal sinyale çevirirler. Sayısala çevrilmiş analog sinyal, işlemci tarafından kullanılabilmek için binary (ikili sayı sistemi, 0-1) olarak düzenlenir. Analog giriş genellikle sıcaklık, ışık, hız, basınç, nem algılayıcıları gibi algılayıcılar bağlanır. Analog çıkış modülü, orantılı olarak analogdan sayısala çevrilmiş sinyali kontrol için bir analog sinyale verir. Sayısal veri, analog formu elde etmek için sayısal–analog konvertörden geçirilerek analog çıkış cihazları olan küçük motorlar, valfler ve analog ölçü aletleri gibi elemanlara verilir (Yılmaz, H., 2013, Bayındır, R., 2010, 2011, Aslan, Y. 2011, Mirzaoğlu, İ., 2013, Ada, N., 2003, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/, Acıelma, F., 2005, Özdamar, C.).

Genişleme Birimleri:

PLC'deki toplam giriş ve çıkış sayısı, denetimi sağlayacak miktarda değilse PLC'ye ek modüller ilave edilerek cihazın kapasitesi genişletilebilir. Bu durumda PLC'ye giriş ve çıkış üniteleri eklenmiş olur. Genişletilecek giriş ve çıkış sayıları PLC'lerin marka ve modellerine göre değişebilir (Yılmaz, H., 2013, Bayındır, R., 2010, 2011, Aslan, Y. 2011, Mirzaoğlu, İ., 2013, Ada, N., 2003, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/, Acıelma, F., 2005, Özdamar, C.).

Kartların Takıldığı Raflar:

PLC sisteminde giriş/çıkış birimleri CPU ile aynı yapı içinde veya CPU'dan uzakta yerleştirilebilir. Buradaki slotlara fiş ya da konektör direkt olarak bağlanır. I/O (giriş/çıkış) modülü monte edilebilen raflardan (rack) oluşmuştur. Bunlar isteğe göre PLC'ler üzerinde

sökülüp takılabilir. Bu raflar üzerine güç kaynağı, CPU, sayısal giriş/çıkış modülleri, analog giriş/çıkış modülleri, modüller arası haberleşme ara birimleri takılabilir (Yılmaz, H., 2013, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/, Bayındır, R., 2010, 2011, Aslan, Y. 2011, Mirzaoglu, İ., 2013, Ada, N., 2003, Acıelma, F., 2005, Özdamar, C.).

3.1.2. PLC programlama



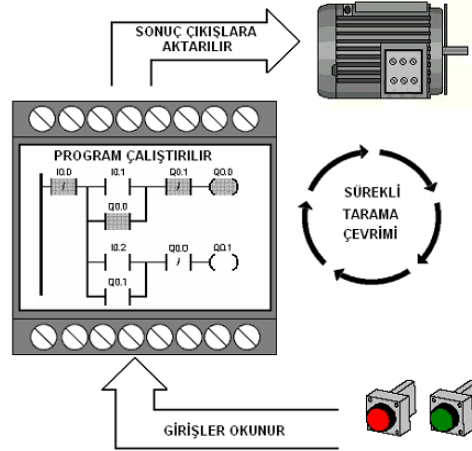
Şekil 3.4. PLC programı akış şeması (http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/).

PLC “RUN” konumuna alındığında Şekil 3.4.’deki işlemler aşağıdaki şekilde gerçekleşir;

- Giriş birimindeki değerler giriş görüntü belleğine alınır ve saklanır. Bu değerler bir sonraki taramaya kadar değişmez.

- Yazılan kontrol programına göre adım adım sırayla deyimler işlenir. Bu işlemler yapılırken bir önceki adımda hesaplanan ara değerler daha sonraki adımlarda kullanılır. Fakat giriş görüntü belleğinden okunan değerler değişmez. Hesaplama sürecinde giriş biriminde oluşan değer değişimleri değerlendirilmez.

- Kullanıcı programın yürütülmesi tamamlandıktan sonra hesaplanan değerler çıkış görüntü belleğine yazılır ve çıkış birimine gönderilir. Çıkış birimine transfer işlemi tamamlandıktan sonra tekrar birinci adıma dönülür. Çıkış görüntü belleği ve çıkış birimindeki değerler bir sonraki çevrime kadar değişmez. Genel olarak bütün PLC’lerde programın yürütülmesi bu şekilde gerçekleşir.



Şekil 3.5. PLC tarama çevrimi (http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/).

Şekil 3.5.'de görüldüğü gibi PLC'lerde bir çevrimin tamamlanması için geçen süreye tarama zamanı (scantime) denilmektedir. Bir PLC tarama zamanı giriş çıkış sayısına, programın içeriği ve uzunluğuna ve merkezi işlem biriminin çalışma frekansına bağlıdır. Genel olarak PLC'lerde tarama zamanı 3 ms ile 200 ms arasında değişmektedir. Tarama hızı genellikle 1024 byte başına işlem hızı olarak verilmiştir (Yılmaz, H., 2013, Bayındır, R., 2010, 2011, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/, Aslan, Y. 2011, Mirzaoglu, İ., 2013, Ada, N., 2003, Acıelma, F., 2005, Özdamar, C.).

PLC programlama dilleri, kontak plan (Ladder Plan), fonksiyon plan (FBD, Function Block Diagram) ve deyim listesi (STL, Standard Template Library) olarak 3 temel şekildedir.

Kontak Plan (Ladder Plan):

Ladder plan, röle ve kontaktörlerle yapılan klasik kumanda devrelerinin çizimlerine benzeyen grafiksel bir programlama şeklidir. Ladder plan gerçek elektrik devrelerinde olduğu gibi bir enerji kaynağından kontaklar aracılığıyla akan enerjiyi sembolize etmek şeklinde kullanıcıya kolay gelebilecek bir programlama mantığına sahiptir (Yılmaz, H., 2013, Bayındır, R., 2010, 2011, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/, Aslan, Y. 2011, Mirzaoglu, İ., 2013, Ada, N., 2003, Acıelma, F., 2005, Özdamar, C.).

Fonksiyon Plan (FBD, Function Block Diagram):

FBD yöntemi, lojik kapıların kullanımına dayanan ve şematik bir gösterim şekli sunan programlama şeklidir. Burada kullanılan lojik semboller kutular şeklinde gösterilir (Yılmaz,

H., 2013, Bayındır, R., 2010, 2011, Aslan, Y. 2011, Mirzaoğlu, İ., 2013, Ada, N., 2003, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/, Acıelma, F., 2005, Özdamar, C.).

Deyim Listesi (STL, Standard Template Library):

STL yönteminde PLC'nin türüne ve markasına göre aynı işlevi gören fakat yazılım şeklinde küçük farklılıklar olan komutlar kullanılır. Bir komut yapılan işlemi belirten mnemonic ve üzerinde işlem yapılan hafıza alanlarını gösteren operantlardan oluşur. Bu yöntem cihazın, makina koduna en yakın gösterim şekli olduğundan çok geniş programlama imkânları sunar (Yılmaz, H., 2013, Bayındır, R., 2010, 2011, Aslan, Y. 2011, Mirzaoğlu, İ., 2013, Ada, N., 2003, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/, Acıelma, F., 2005, Özdamar, C.).

3.2. SCADA

SCADA terimi "Supervisory Control And Data Acquisition" kelimelerinin baş harflerinden oluşturulmuştur. Türkçe'ye "Merkezi Denetim ve Veri Toplama", "Danışmalı Kontrol ve Veri Toplama Sistemi" veya "Uzaktan Kontrol ve Gözleme Sistemi" ya da "Gözetleyici Denetim ve Veri Toplama" olarak çevrilebilir. SCADA ifadesi ilk olarak 1971 yılında güç endüstrisi alanında Arkla Energy Resources (AER) tarafından ortaya atılmış bir terim olup 1973 yılında PICA (Power Industry Computer Applications) konferansında yayınlanıp literatüre dâhil edilmiştir. AER firması tarafından, Fisher Corporation firmasından alınan DC2 bilgisayarına ilk SCADA programı kurulmuştur (http://www.yildiz.edu.tr/~inan/Scada_Nedir.htm, Öcalan, G., 2005).

Kısaca bilgisayarlardan, haberleşme aletlerinden, algılayıcılardan veya diğer aygıtlardan oluşturulmuş denetlenebilen ve kontrol edilen bir sistemin genel adıdır. En genel olarak enerji SCADA'sı (elektrik, su, doğalgaz) ve üretim süreci SCADA'sı (fabrika, tesis otomasyonu) olarak ikiye ayrılır.

Temel olarak SCADA bir yazılımdır ve sistemi kontrol edecek bilgisayarlar kurulur. Tek bir bilgisayar üzerinden çalışabileceği gibi büyük tesislerde bilgisayar ağı üzerinde çalışarak birden fazla kumanda ve izlemeye imkân tanır. Endüstride kabul görmüş ve en yaygın olarak kullanılan SCADA yazılımlarından bazıları; WinCC, Citect, ICONICS, iFIX, InduSoft, Intouch, Entivity Studio, Entivity Live, Entivity VLC, Trace Mode, Wizcon olarak sıralanabilir (http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/).

Bilgisayar ve iletişim teknolojilerindeki son gelişmeler ve bunlarla ilgili cihazlardaki maliyet düşüşleri, elektrik dağıtım sistemlerinin otomasyonunu teknik ve ekonomik olarak yapılabilir hale getirmiştir. Örneğin dağıtım ve su otomasyonunda, şebekenin uzaktan izlenmesinden dolayı sistemin hızlı ve etkin bir şekilde kontrolü sağlanır ve sonuçta daha güvenilir, sürekli ve kaliteli elektrik enerjisi ve su beslemesi olası duruma getirilir. Sistem bilgileri arşivlenebilir ve istatistiki raporlar ile en etkin ve ekonomik işletme yönetimi sağlanır.

Üretim süreçlerinde gözetleyici denetim ve veri toplama işlemlerini yapan sistemler için kullanılan SCADA sistemleri, fabrikadaki üretim süreçlerinin (hammadde, üretim ve mamul madde takibi vb.) denetiminde kullanılır. Çeşitli araçlarla (RTU, PLC vb.) birlikte fabrikanın üretim kontrolü ve takibine yönelik bir alt yapı oluştururlar. Bu alt yapının imkân verdiği ölçüde üretim kaynakları planlaması ve işletme kaynakları planlama sistemleriyle gerekli iletişim sağlanarak ideal bir yapıya erişilebilir. Amaç en düşük maliyetle, daha kaliteli ve daha çok üretmek için gerekli yapıyı kurmaktır. İşletmedeki tesislerden en yüksek verimlilikle yararlanmak, yöneticilerin işletmeye ve üretim bilgilerine tam olarak hâkim olmasıyla sağlanabilir. SCADA yazılım paketleriyle endüstriyel tesislerde alt yapı yazılımı yapılır ve böylece fabrika içi ile dışındaki ağlara bağlanarak şirketin bütün katmanlarının uyum içerisinde çalışmasına imkân sağlanır. SCADA, işletme genelinde herkese, her zaman erişebilecekleri, gerçek zamanlı ve ayrıntılı bilgiyi sağlar.

SCADA sistemi, hidroelektrik, nükleer güç üretimi, doğalgaz üretim ve işleme tesislerinde, gaz, yağ, kimyasal madde ve su boru hatlarında pompaların, valflerin ve akış ölçüm donanımlarının işletilmesinde, kilometrelerce uzunluktaki elektrik iletim hatlarındaki kesicilerin kontrolü ve hatlardaki ani yük değişimlerinin dengelenmesi gibi çok farklı alanlarda kullanılabilmektedir.

SCADA sistemiyle işletme içerisindeki tüm birimlerle olan iletişim ve kontrol eş zamanlı olarak gerçekleştirilebilir. Böylece üretim süreci denetiminden kaynaklanan ekonomik zararlar da minimize edilir, hatta sıfırlanır (http://www.yildiz.edu.tr/~inan/Scada_Nedir.htm, 2013, Öcalan, G., 2005, Ada, N., 2003,).

3.2.1. SCADA yazılımı

Genellik SCADA sistemleri işletmelerin bilgi işlem ve otomasyon sistemlerinde kullanılan işletim sistemi platformuna uygun olarak seçilir. Kararlı ve yaygın bir işletim sistemi olarak Microsoft firmasının işletim sistemlerinin yanı sıra bazı işletmeler, maliyet açısından açık kaynak kodlu (Linux) işletim sistemlerini tercih edebilir. Bu tür açık kaynak kodlu

platformlar için neredeyse sıfır maliyetli Linux üzerinde çalışan SCADA sistemleri de mevcuttur. Ancak bunun içinde PLC sürücü yazılımlarına ihtiyaç vardır. Yapılacak SCADA yazılımının da sisteme tam olarak uygulanabilmesi için otomasyon piramidinde SCADA'dan hemen önce yer alan PLC sistemini desteklemesi gerekir. İşletme ihtiyaçlarına, fiyat/performans analizlerine göre piyasada çok farklı yetenek ve özelliklerde SCADA yazılımları mevcuttur.

ABD kaynaklı Wonderware firması tarafından üretilmiş, windows üzerinde uygulama geliştirebilme imkânı sağlayan bir SCADA yazılım paketi **In Touch**, Schneider Electric firmasının bir ürünü olan otomasyon alanında faaliyet gösteren **Vijeo CITECT** yazılımları mevcuttur. Ülkemizde yaygın olarak kullanılan PLC sistemlerine SCADA uygulamalarını gerçekleştirmek için tasarlanmış ve Windows üzerinde uygulama geliştirebilme imkânı sağlayan bir Alman firması tarafından üretilmiş yazılım paketi olan **WinCC** en çok tercih edilen SCADA yazılımlarındandır (http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/). Yapılan çalışmada WinCC SCADA yazılım programı tercih edilmiştir.

3.2.2. SCADA programı bileşenleri

SCADA programının bileşenleri, program kurulumu, arayüz, programlama ve diğer bileşenler (SCADA yazılımı, veri tabanı, ağ elemanları, uzak istasyonlar, ölçme ve kontrol birimleri) olarak dört ana bileşenden meydana gelir.

Kurulum:

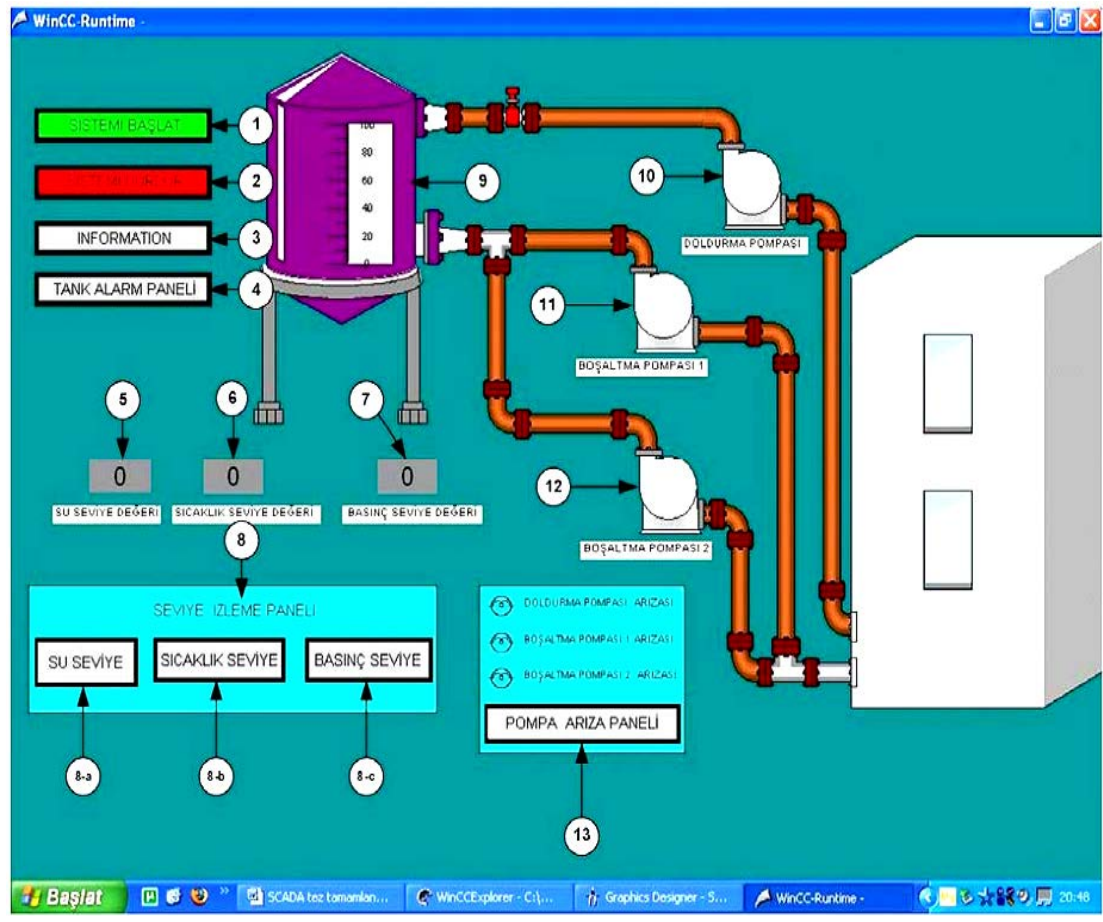
Hangi firmanın SCADA yazılımı kullanılacaksa o yazılım programı öncelikle bilgisayara ya da endüstriyel PC'ye kurulmalıdır.

Arayüz:

SCADA yazılımları ile geliştirilen tüm uygulamalar bir arayüze sahiptir. Arayüzü oluşturan semboller, resimler ilgili SCADA yazılım programının kütüphanesinden alınır. Bu kütüphane kullanıcı tarafından zenginleştirilebilir. Otomasyon operatörü ya da yetkilisi sistemi bu arayüz vasıtasıyla görsel bir zenginlik içinde izler ve kumanda eder. Arayüz ne kadar etkileşimli tasarlanırsa SCADA sisteminin başarısı o kadar artar. SCADA yazılım paketleri içinde arayüz tasarım programları yer alır. WinCC SCADA programında arayüz hazırlama "Graphic Designer" uygulamasıyla yapılır. Gerçek sistemin bilgisayar ekranındaki temsili görüntüsü Şekil 3.6.'da verilmiştir (Öcalan, G., 2005, Ada, N., 2003, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/).

Programlama:

SCADA yazılımları üzerinde geliştirilen uygulamalar daha çok görsel ağırlıklıdır. Bazı durumlarda makro benzeri kodlamalarında yapılması gerekebilir. Bu durumlarda script dilleri ile kodlamalar yapılır. Örneğin WinCC SCADA yazılımı Visual Basic Script dilini destekler (http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/).



Şekil 3.6. WinCC SCADA yazılım örneğinde arayüz görünümü (Bayındır, R., 2011).

Diğer bileşenler:

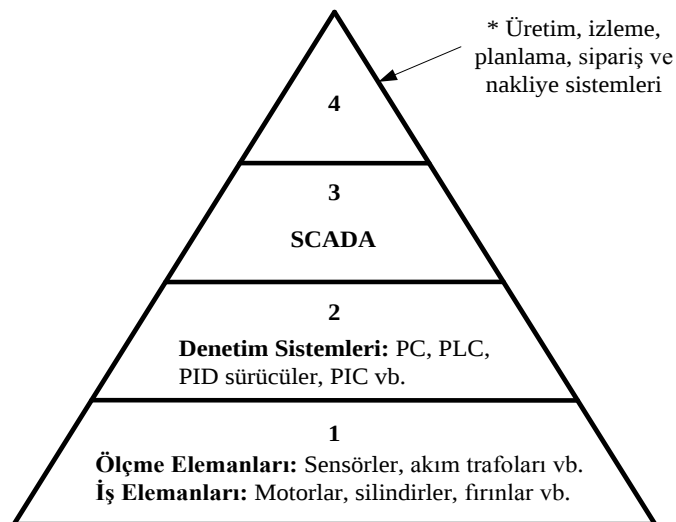
SCADA yazılımı, veri tabanı, ağ elemanları, uzak istasyonlar, ölçme ve kontrol birimlerinden oluşmuştur (http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/).

3.3. PLC-SCADA

Şekil 3.7.'de dört katmanlı otomasyon piramidi görülmektedir. Mevcut endüstriyel işletmelerdeki otomasyon sistemleri ilk iki katmandaki iş elemanları, ölçme elemanları ve denetim sistemleri üzerine kurulmuştur.

Birinci katmanda işletme-fabrika üretim hattı temsil edilmekte olup, iş yapan makinalar ile birlikte ölçme buradadır. İkinci katmanda işletme-fabrika otomasyonu ve denetim kısmı bulunmaktadır. Burada sistemin otomasyonunun büyük çoğunluğunun PLC ile gerçekleştirildiğini vurgulamak gerekir ki PLC başlığı altında konu anlatılmıştır. SCADA'nın bulunduğu üçüncü katmanda merkezi yönetim ve denetim, veri depolama ile raporlama gerçekleşmiştir. Dördüncü katmanda ise SCADA'dan gelen veriler doğrultusunda gerekli stratejiler oluşturulmuştur (Mirzaoğlu, İ., 2013, Bayındır, R., 2011, Ada, N., 2003, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/).

Otomasyon piramidinde de görüldüğü gibi, günümüzde bir sistemin otomasyonu gerçekleştirilirken PLC ve SCADA sistemin vazgeçilmez bileşenleridir. Endüstriyel uygulamalarda verimliliğin üst seviyede olması için akıllı sistemleri oluşturan bu tür otomasyonlar tüm işletmeciler tarafından tercih edilmektedir. Kullanıcılar tarafından sistemin çalışmasının takip edilebilir olması, arıza bilgilerinin anında görülmesi ve kaydedilmesi, minimum arıza ile karşılaşılması çalışanın performansı ile birlikte üretimin artmasını ve kar oranının yüksek olmasını sağlar (Mirzaoğlu, İ., 2013, Bayındır, R., 2011, Ada, N., 2003, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/).



Şekil 3.7. Otomasyon piramidi (http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/).

4. KAYABOĞAZI BARAJI HES TÜRİNLERİNİN BM TEMELLİ KONTROLÜ

Yapılan çalışmada Kayaboğazı Barajı incelenmiş ve üretilebilir elektrik enerjisi potansiyeli değerlendirilmiştir. Mini-hidro sınıfına giren bu barajda mevsimsel değişikliklerden dolayı su rejimlerinin düzenli olmadığı Çizelge 4.1.'de görülmektedir. Su rejiminin sürekli değişken olması ve hidroelektrik türbinlerin kısmi akış verimlerin düşük olmasından dolayı tek bir türbinin bu barajda kullanılması uygun değildir (Aslan, Y., Yasar, C., Karabörk, M.Ç.,2004). Barajda kullanılması düşünülen türbinler BM temelli algoritma ile denetlenmesiyle üretilen elektrik enerjisinin en yüksek seviyede olması sağlanacaktır. Bu amaçla uygun BM algoritması yazılmış ve denetim elemanı olarak da BM birimi olan bir PLC seçilmiştir.

4.1. Kayaboğazı Barajı

Kayaboğazı Barajı 1988 yılında işletmeye açılmış olup halen tarımsal sulama ve içme suyu ihtiyacı karşılama amaçlı olarak işletilmektedir. Ayrıca baraj rezervuarından Seyitömer Termik Santralı soğutma suyu ihtiyacı karşılanmaktadır. Kayaboğazı Barajı talvegden 38 m, temelden ise 45 m yüksekliğinde toprak ve kaya dolgu tipinde inşa edilmiştir. Baraj kret kotu 924.75 m olup kret uzunluğu 237 m'dir. Baraj rezervuarında en düşük su seviyesi 908.40 m, normal su seviyesi 917.80 m, en yüksek su seviyesi ise 922.91 m'dir. Kayaboğazı Barajı dolusavağı karşıdan alışı ve kapaklı tipte olup sol sahilde yer almaktadır. Dolusavak kret kotu 912 m, kret boyu ise 29.60 m'dir. Dolusavak 1988 m³/s olası en büyük taşkın debisine göre tasarlanmış olup, maksimum deşarjı 1800 m³/s'dir. Dipsavak yapısı barajın sağ sahilinde yer almaktadır. Toplam boyu 373.15 m olan dipsavağın sonunda vana odası yer almakta olup, bu vana odasının bulunduğu bölümde yer alan iki adet bransman vasıtası ile Tavşanlı ilçesi içme suyu ihtiyaçları ve Enne Barajı'na verilecek sular dere yatağına bırakılmadan baraj rezervuarının basıncı yardımı ile alınmaktadır. Kalan su ise vana odası sonunda yer alan enerji kırıcı havuzda enerjisi alınarak dere yatağına bırakılmaktadır (Aslan, Y., 2004, 2008).

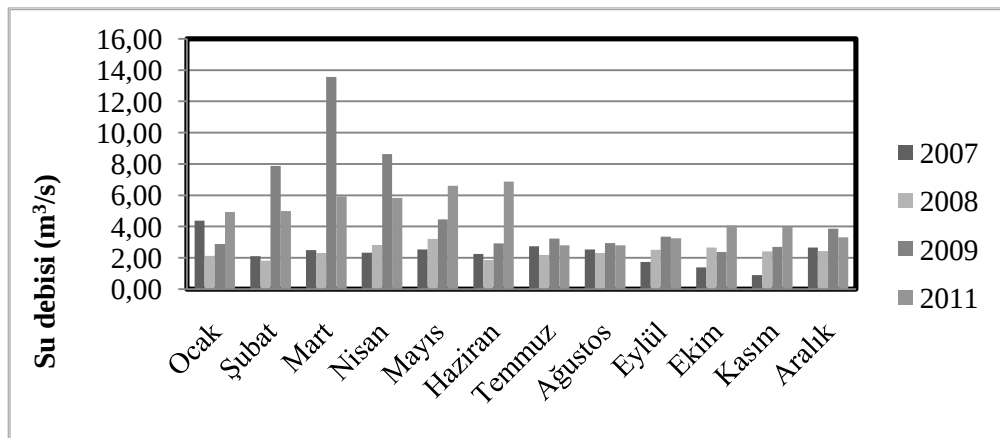
4.2. Kayaboğazı Barajı Hidro Sistem Çıkış Gücü

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, DSİ Genel Müdürlüğü, Kütahya Şube Müdürlüğünden alınan sarfiyat ve gelen su miktarlarından faydalanılarak oluşturulan Çizelge 4.1.'de hidroelektrik santralin çıkış gücü (P) hesaplanırken denklem (4.1) kullanılarak hesaplanmıştır. Burada türbinin hidrolik verimi (η) %90, suyun özgül ağırlığı (ρ) 1000 kg/m³, yerçekimi ivmesi (g) 10 m/s², suyun debisi (Q) m³/s, suyun etkin düşü yüksekliği (H) 18 m alınmıştır (Aslan, Y., 2004, 2008, Paish, O., 2002).

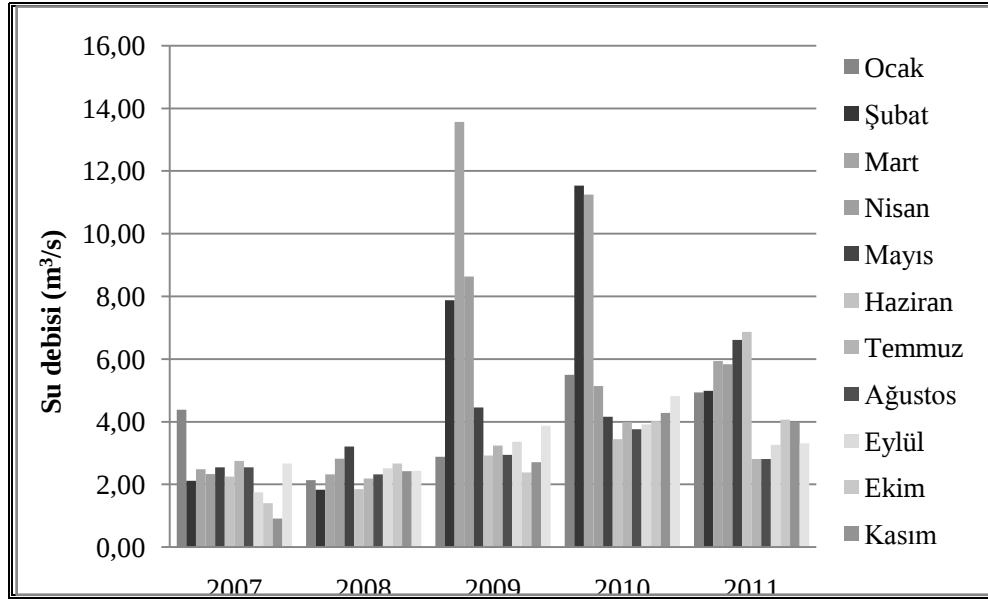
$$P=\eta\phi gQH \quad (4.1)$$

Çizelge 4.1. Kayaboğazı Barajı 2007-2011 yılları arası gelen su miktarı ve ortalama debi değerleri (Aslan, Y., 2004, 2008, Paish, O., 2002).

Aylar	Ortalama Gelen Su Miktarı (m ³)	Ortalama Debi (m ³ /s)	Hidro Sistem Çıkış Gücü (Watt)	Birim Zamandaki Potansiyel Elektriksel Güç (kW)	Aylık Toplam Potansiyel Elektrik Enerjisi (kWh)	Yıllık Toplam Potansiyel Elektrik Enerjisi (kWh)
Ocak	10274020	3,96	642126	642	462331	5.524.736 (5,5 GWh)
Şubat	14690988	6,07	983772	984	661094	
Mart	18435600	7,11	1152225	1152	829602	
Nisan	12825680	4,95	801605	802	577156	
Mayıs	10874720	4,20	679670	680	489362	
Haziran	8988420	3,47	561776	562	404479	
Temmuz	7759840	2,99	484990	485	349193	
Ağustos	7449520	2,87	465595	466	335228	
Eylül	7667640	2,96	479228	479	345044	
Ekim	7529520	2,90	470595	471	338828	
Kasım	7412500	2,86	463281	463	333563	
Aralık	8863460	3,42	553966	554	398856	



Şekil 4.1. Kayaboğazı barajı aylık bazda debi değerleri (m³/sn).



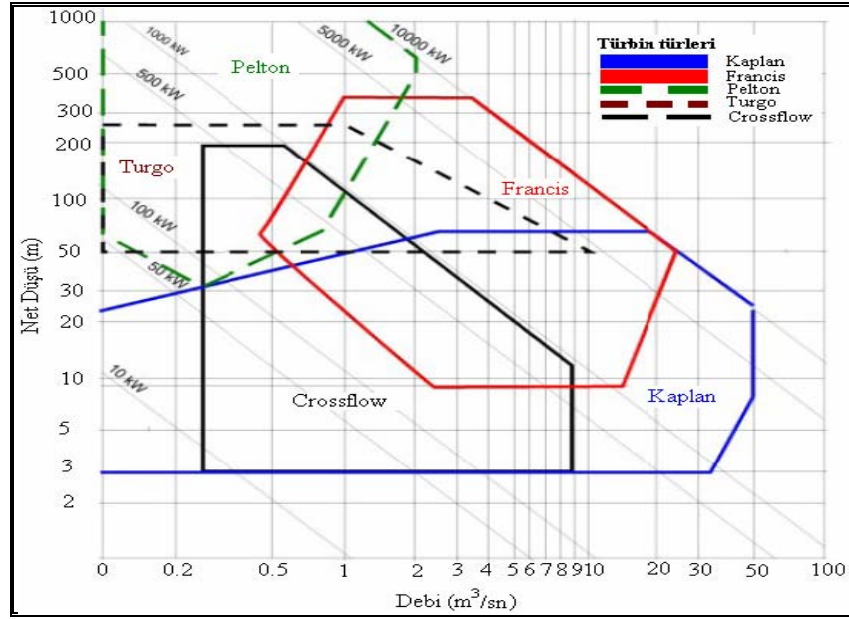
Şekil 4.2. Kayaboğazı barajı yıllık bazda debi değerleri (m³/sn).

4.3. Türbin Tipi Seçimi

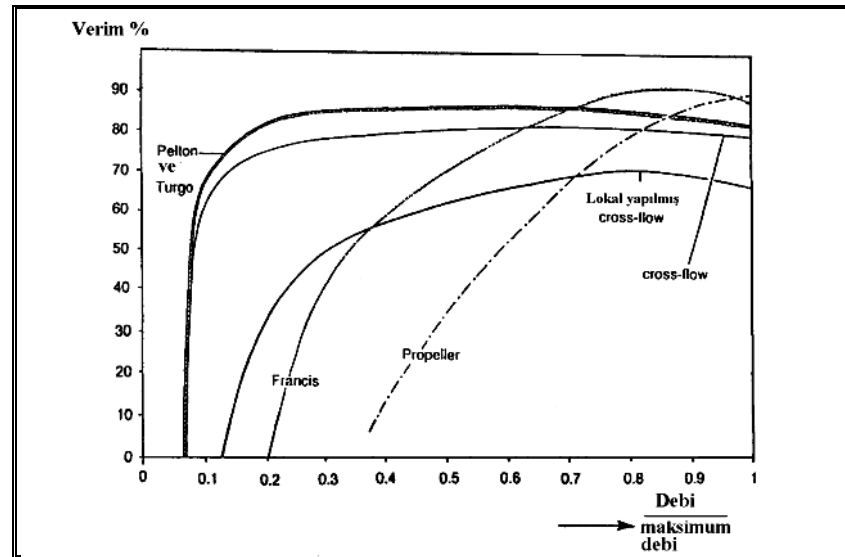
Kayaboğazı Barajındaki etkin düşü yüksekliği 18 metredir. Çizelge 4.2. ve Şekil 4.3.'e göre en uygun türbin ya da türbinlerin tipleri Francis (salyangozlu) ya da Crossflow'dur. Etkin düşü yüksekliği ve veriminin Şekil 4.4.'e göre %90'nın üzerine çıkmasından dolayı uygun tepki türbini çeşidi sadece Francis (salyangozlu) türbindir (Aslan, Y., 2004, 2008).

Çizelge 4.2. Düşü değerine göre türbin tipleri (Aslan, Y., 2004).

Düşü Sınıflandırması	Türbin Tipi	
	Etki (Impulse)	Tepki (Reaction)
Yüksek (>50 m)	Pelton Turgo Multi-jet	
Orta (10-50 m)	Crossflow Turgo Multi-jet Pelton	Francis (Salyangozlu)
Düşük (<10 m)	Crossflow	Francis(Açık su odalı) Propeller Kaplan



Şekil 4.3. Debi ve düşü değerlerine göre türbin tipleri (Aslan, Y., 2004).



Şekil 4.4. Türbinlerin verim eğrileri (Aslan, Y., 2004).

4.4. Türbin Güçlerinin Ve Adetlerinin Belirlenmesi

Çizelge 4.1.'de görüldüğü gibi Kayaboğazı Barajı'nı besleyen Kocaçay Irmağı'nın debisi aylara göre ortalama $2.86 m^3/s$ ile $7.11 m^3/s$ arasında değişiklik göstermektedir. Barajın debi değerleri ile Çizelge 4.2., Şekil 4.3. ve Şekil 4.4. incelendiğinde kurulması planlanan

Kayaboğazı HES için bir tane büyük güçlü (1150 kW) türbinin verimli olmayacağı, küçük güçlü birden fazla türbin kullanılmasının daha verimli olacağı düşünülmüştür (Aslan, Y., 2004, 2008).

Çizelge 4.2., Şekil 4.3. ve Şekil 4.4'e göre seçilen ve kullanılacak olan Francis türbin(ler)'in hangi güç(ler)de ve kaç adet olacağı, optimal sonuç elde etmek için kullanılan Lindo lineer hesaplama programı ile yapılan doğrusal hesaplama sonucunda tespit edilmiştir. Bu programda aşağıdaki soruya uygun lineer algoritma sorusu sorularak gerekli yazılım yapılmıştır.

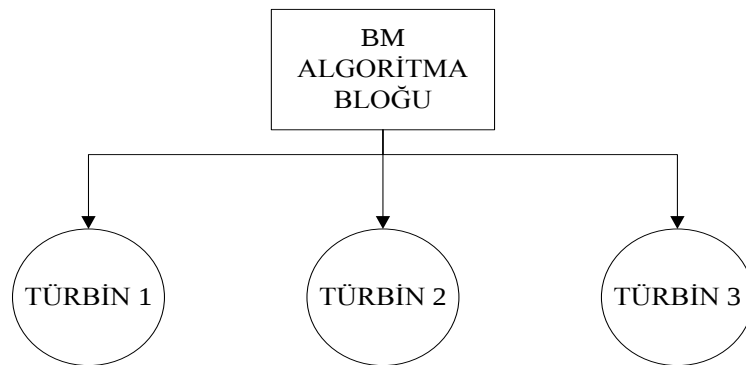
- Bu barajda mevsimsel/aylık su rejimlerine göre, hangi güçte türbin ya da türbinlerden kaç adet ya da kaçar adet kullanırsak maksimum elektrik enerjisi elde edebiliriz?

Lindo lineer hesaplama programı örneği Ek-2'de, Çizelge 4.3.'de de program sonucu optimal güç için gerekli türbinler ve adetleri verilmiştir.

Çizelge 4.3. Seçilen türbin güçleri ve adetleri.

Türbin Gücü (kW)	250 kW	400 kW	750 kW
Türbin Adedi	1	1	1

4.5. Çalışmanın Bulanık Algoritması



Şekil 4.5. BM algoritmalı modellenmiş sistem akış diyagramı.

Şekil 4.5.'de sistem akış diyagramı verilen uygulamada BM temelli denetimin temel amacı, sürekli olarak türbinlerin hidrolik verimliliklerini optimum düzeyde tutacak şekilde çeşitli kombinasyonlarda çalıştırıp türbinleri su debisine ve talep gücüne uyarlamaktır. BM temelli denetleyici kullanmanın avantajları; genel kontrol algoritması, hızlı tepki vermesi olarak sıralanabilir (Adzic E., 2009).

Kayaboğazı Barajında kullanılması düşünülen türbinlerin devreye alınması ve devreden çıkarılması için BM algoritma yöntemiyle yapılan hesaplamalarda sistemin girdileri olarak suyun potansiyel gücü (P) ve talep edilen güç (T) alınmıştır. Sistemin çıktısı olarak da, P ve T değerlerine göre sistemden elde edilen uygun çıkış gücüdür (G).

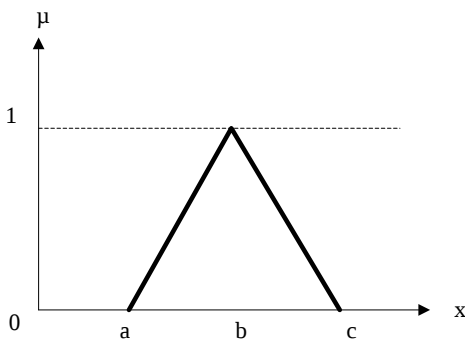
Bulanık sistemde, sistemin kesin girdi değerleri belirlenen üyelik fonksiyonu yardımıyla bulanık değerlere dönüştürülür. Bu üyelik fonksiyonları da S (Sigmoidal), Pİ (π), üçgen ve yamuk fonksiyonlardan seçilir. Üyelik fonksiyonu şekli, giriş değişken değerlerinin üyelik derecesinin değişimine bakılarak uygun olan belirlenir. Yapılan çalışmada P ve T değerleri için kullanılacak BM algoritma fonksiyonlarındaki üyelik fonksiyonları üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları şeklinde hesaplanmıştır. Bu fonksiyonların grafiksel gösterimleri ve denklemleri aşağıda verilmiştir (Elmas, Ç., 2007, Yalçın, N., 2013).

Üçgen fonksiyonu: Üçgen fonksiyonun grafiksel gösterimi Şekil 4.6.'da, hesaplaması denklem 4.2'de verilmiştir.

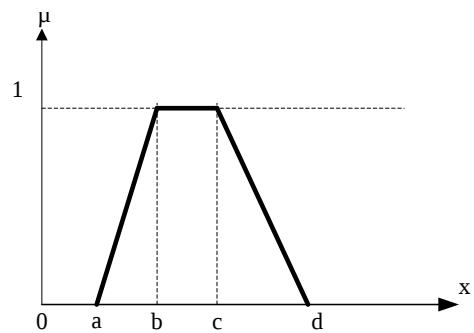
$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & x > c \end{cases} \quad (4.2)$$

Yamuk fonksiyonu: Yamuk fonksiyonun grafiksel gösterimi Şekil 4.7.'de, hesaplaması denklem 4.3'de verilmiştir.

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & x > d \end{cases} \quad (4.3)$$



Şekil 4.6. Üçgen fonksiyonu.



Şekil 4.7. Yamuk fonksiyonu.

BM algoritma, önce beş üyelik kümeli daha sonra yedi üyelik kümeli olarak gerçekleştirilmiştir. Bunun sebebi, yapılan denetimin hassasiyetinin test edilerek değerlendirilmesidir. Ayrıca giriş üyelik kümelerinin oluşumunda kullanılan potansiyel ve talep güç değerleri aralığı ile çıkış üyelik kümelerinin oluşumundaki kural tabanlarında kullanıcının tecrübe, öngörü vb. özelliklerinden dolayı algoritma etkilenir.

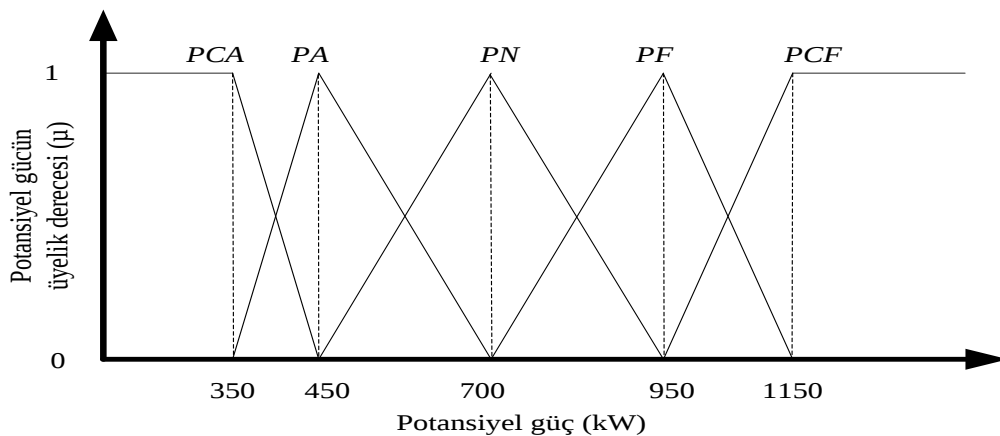
4.5.1. Çalışmanın beş üyelik kümeli bulanık algoritması

Beş üyelik kümeli bulanık algortmada, giriş üyelik kümeleri olan suyun potansiyel gücü (P) ile talep edilen güç (T) için üçgen ve yamuk fonksiyonu kullanılmıştır.

Suyun potansiyel gücü (P):

Barajın potansiyel gücünün üyelik kümeleri PCA , PA , PN , PF ve PCF Şekil 4.8.'de gösterilmiştir. Burada üç tane üçgen ve iki tane yamuk şekil fonksiyonundan oluşan toplam beş üyelik kümesini gösterir şekiller kullanılmıştır. Potansiyel güç Çizelge 4.1.'de görüldüğü gibi 0 ile 1150 kW arasında değişmektedir. Üyelik fonksiyonlarının karşılıkları da çok az, az, normal, fazla ve çok fazla şeklinde sınıflandırılmıştır. Değer aralıkları aşağıda, gerekli hesaplamalar Çizelge 4.4.'te gösterilmiştir.

- PCA : Potansiyel Çok Az Güç (0-450 kW)
- PA : Potansiyel Az Güç (350-700 kW)
- PN : Potansiyel Normal Güç (450-950 kW)
- PF : Potansiyel Fazla Güç (700-1150 kW)
- PCF : Potansiyel Çok Fazla Güç (950-1150 kW)



Şekil 4.8. Beş üyelik kümeli potansiyel güç üyelik derecesi.

Çizelge 4.4. Beş üyelik kümeli potansiyel güç üyelik kümeleri.

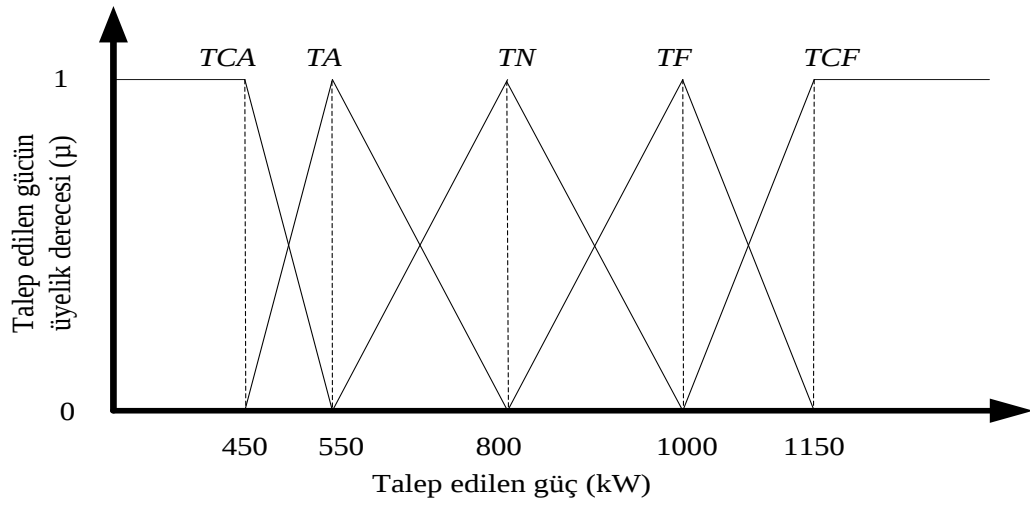
Üyelik Kümeleri	Fonksiyon	Değer Aralığı
<i>PCA</i>	$\mu(x)=1$ $\mu(x)=(450-x)/(450-350)$	$x \leq 350$ $350 \leq x \leq 450$
<i>PA</i>	$\mu(x)=(x-350)/(450-350)$ $\mu(x)=(700-x)/(700-450)$	$350 \leq x \leq 450$ $450 \leq x \leq 700$
<i>PN</i>	$\mu(x)=(x-450)/(700-450)$ $\mu(x)=(950-x)/(950-700)$	$450 \leq x \leq 700$ $700 \leq x \leq 950$
<i>PF</i>	$\mu(x)=(x-700)/(950-700)$ $\mu(x)=(1150-x)/(1150-950)$	$700 \leq x \leq 950$ $950 \leq x \leq 1150$
<i>PCF</i>	$\mu(x)=(x-950)/(1150-950)$ $\mu(x)=1$	$950 \leq x \leq 1150$ $x \geq 1150$

Talep edilen güç (T);

Barajdan talep edilen gücün üyelik kümeleri *TCA*, *TA*, *TN*, *TF* ve *TCF* Şekil 4.9.'da gösterilmiştir. Burada da üç tane üçgen ve iki tane yamuk şekil fonksiyonundan oluşan toplam beş üyelik kümesini gösterir şekiller kullanılmıştır.

Talep edilen güç de potansiyel güç ile paralellik olması için 0 ile 1150 kW arasında alınmıştır. Üyelik fonksiyonlarının karşılıkları da potansiyel güçte olduğu gibi çok az, az, normal, fazla ve çok fazla şeklinde sınıflandırılmıştır. Değer aralıkları aşağıda, gerekli hesaplamalar Çizelge 4.5.'te gösterilmiştir. Örneğin; *TA* üyelik derecesi 0.69 ve *TN* üyelik derecesi 0.30 ise talep edilen güç yaklaşık 640 kW olur.

- *TCA* : Talep Edilen Güç Çok Az (0-550 kW)
- *TA* : Talep Edilen Güç Az (450-800 kW)
- *TN* : Talep Edilen Güç Normal (550-1000 kW)
- *TF* : Talep Edilen Güç Fazla (800-1150 kW)
- *TCF* : Talep Edilen Güç Çok Fazla (1000-1150 kW)



Şekil 4.9. Beş üyelik kümeli talep edilen güç üyelik derecesi.

Çizelge 4.5. Beş üyelik kümeli talep edilen güç üyelik kümeleri.

Üyelik Kümeleri	Fonksiyon	Değer Aralığı
<i>TCA</i>	$\mu(x)=1$ $\mu(x)=(550-x)/(550-450)$	$x \leq 450$ $450 \leq x \leq 550$
<i>TA</i>	$\mu(x)=(x-450)/(550-450)$ $\mu(x)=(800-x)/800-550)$	$450 \leq x \leq 550$ $550 \leq x \leq 800$
<i>TN</i>	$\mu(x)=(x-550)/(800-550)$ $\mu(x)=(1000-x)/(1000-800)$	$550 \leq x \leq 800$ $800 \leq x \leq 1000$
<i>TF</i>	$\mu(x)=(x-800)/(1000-800)$ $\mu(x)=(1150-x)/(1150-1000)$	$900 \leq x \leq 1000$ $1000 \leq x \leq 1150$
<i>TCF</i>	$\mu(x)=(x-1000)/(1150-1000)$ $\mu(x)=1$	$1000 \leq x \leq 1150$ $x \geq 1150$

Kural tabanı ve berraklaştırma;

Bulanık çıkarım için birçok farklı yapı bulunmaktadır. Bunların en çok kullanılanları ise Max-Dot, Min-Max, Tsukamoto ve Takagi-Sugeno çıkarım metotlarıdır. Giriş değişkenleri (P , T) ve kural tablosu dikkate alınarak, değişimlerin fonksiyonel olmamasından dolayı tasarlanan bulanık sistemde yaygın olarak kullanılan Mamdani yaklaşımı tercih edilmiştir. Mamdani yaklaşımının çıkarım biriminde Min-Max yöntemi, berraklaştırmada da ağırlık ortalaması (Centroid of Gravity, COG) yöntemi kullanılmaktadır (Elmas, Ç., 2007).

Min-Max: Her bir giriş değeri için ait olduğu üyelik işlevindeki üyelik derecesine bağlı olarak ilgili bulanık kümenin üyelik değerinin üstündeki kısım kesilir. Çıkış değeri, elde edilen bu bulanık kümelerle genellikle ağırlık ortalaması yönteminin uygulanmasıyla bulunur (Elmas, Ç., 2007).

Çıkış biriminde kullanılan çıkış güçlerinin karşılığı olan türbinler ve birleşimleri aşağıda verilmiştir.

- $G1$: 250 kW (T1türbini devrede)
- $G2$: 400 kW (T2 türbini devrede)
- $G3$: 650 kW (T1 ve T2 türbinleri devrede)
- $G4$: 750 kW (T3 türbini devrede)
- $G5$: 1000 kW (T1 ve T3 türbinleri devrede)
- $G6$: 1150 kW (T2 ve T3 türbinleri devrede)
- $G7$: 1400 kW (T1, T2 ve T3 türbinleri devrede)

Çizelge 4.6. Beş üyelik kümeli kural tabanı.

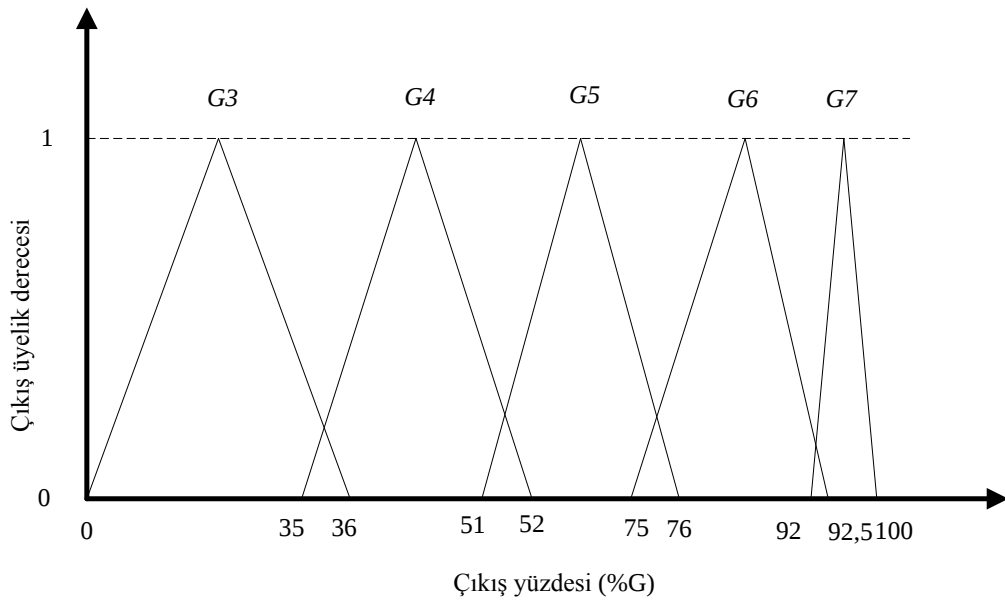
	TCA	TA	TN	TF	TCF
PCA	$G3_1$	$G3_2$	$G3_3$	$G3_4$	$G3_5$
PA	$G3_6$	$G4_1$	$G4_2$	$G4_3$	$G4_4$
PN	$G3_7$	$G5_1$	$G5_2$	$G5_3$	$G5_4$
PF	$G3_8$	$G5_5$	$G6_1$	$G6_2$	$G6_3$
PCF	$G3_9$	$G5_6$	$G6_4$	$G7_1$	$G7_2$

Çizelge 4.6.'daki kural tabanında iki giriş bilgisi P ve T değerlerine karşılık gelen çıkış üyelik kümeleri Şekil 4.8. ve Şekil 4.9.'a göre $G3$, $G4$, $G5$, $G6$ ve $G7$ olarak belirlenmiştir.

Burada $G3$ T1 ve T2 türbinlerini, $G4$ T3 türbinini, $G5$ T1 ve T3 türbinlerini, $G6$ T2 ve T3 türbinlerini ve $G7$ T1, T2 ve T3 türbinlerini ifade etmektedir. MATLAB’da yapılan çıkış gücü hesaplamasında ağırlık merkezi yöntemi uygulanmıştır (Elmas, Ç., 2007, Guler, I., 2008).

Bulanık çıkarımın algoritması aşağıda verilmiştir.

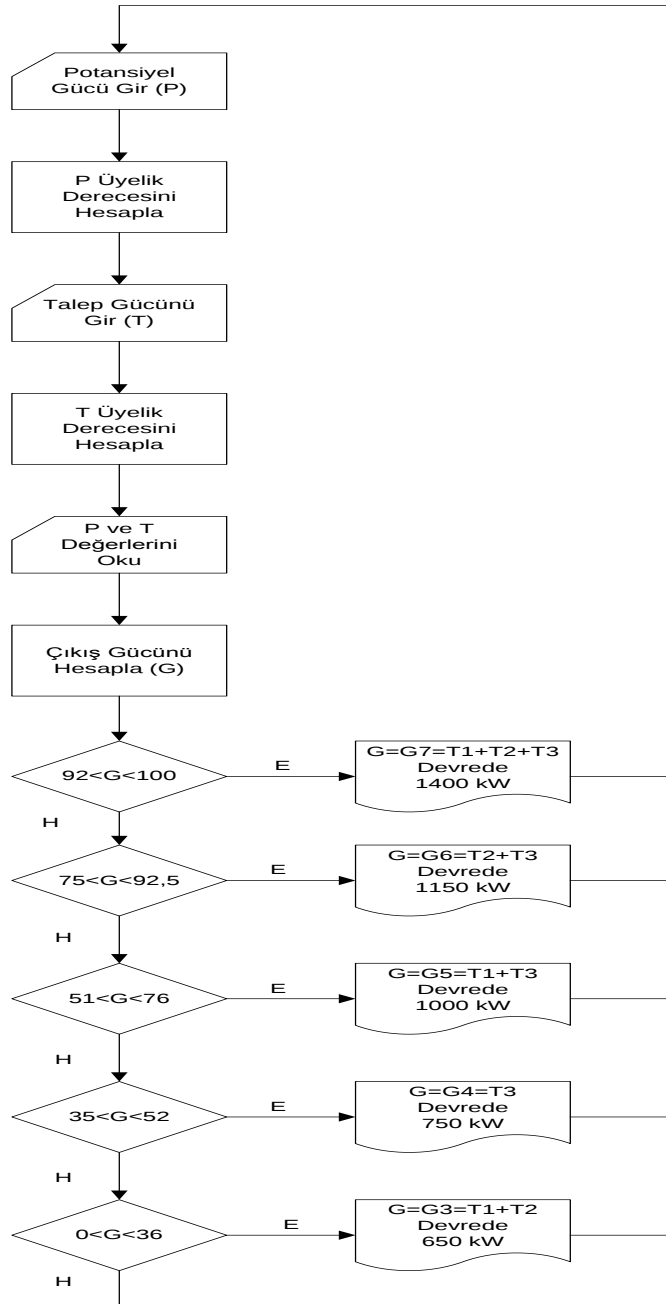
- Eğer potansiyel güç çok az ve talep edilen güç çok az ise çıkış gücü $G3_1$ olsun.
- Eğer potansiyel güç çok az ve talep edilen güç az ise çıkış gücü $G3_2$ olsun.
- Eğer potansiyel güç çok az ve talep edilen güç normal ise çıkış gücü $G3_3$ olsun.
- Eğer potansiyel güç çok az ve talep edilen güç fazla ise çıkış gücü $G3_4$ olsun.
- Eğer potansiyel güç çok az ve talep edilen güç çok fazla ise çıkış gücü $G3_5$ olsun.
- Eğer potansiyel güç az ve talep edilen güç çok az ise çıkış gücü $G3_6$ olsun.
- Eğer potansiyel güç az ve talep edilen güç az ise çıkış gücü $G4_1$ olsun.
- Eğer potansiyel güç az ve talep edilen güç normal ise çıkış gücü $G4_2$ olsun.
- Eğer potansiyel güç az ve talep edilen güç fazla ise çıkış gücü $G4_3$ olsun.
- Eğer potansiyel güç az ve talep edilen güç çok fazla ise çıkış gücü $G4_4$ olsun.
- Eğer potansiyel güç normal ve talep edilen güç çok az ise çıkış gücü $G3_7$ olsun.
- Eğer potansiyel güç normal ve talep edilen güç az ise çıkış gücü $G5_1$ olsun.
- Eğer potansiyel güç normal ve talep edilen güç normal ise çıkış gücü $G5_2$ olsun.
- Eğer potansiyel güç normal ve talep edilen güç fazla ise çıkış gücü $G5_3$ olsun.
- Eğer potansiyel güç normal ve talep edilen güç çok fazla ise çıkış gücü $G5_4$ olsun.
- Eğer potansiyel güç fazla ve talep edilen güç çok az ise çıkış gücü $G3_8$ olsun.
- Eğer potansiyel güç fazla ve talep edilen güç az ise çıkış gücü $G5_5$ olsun.
- Eğer potansiyel güç fazla ve talep edilen güç normal ise çıkış gücü $G6_1$ olsun.
- Eğer potansiyel güç fazla ve talep edilen güç fazla ise çıkış gücü $G6_2$ olsun.
- Eğer potansiyel güç fazla ve talep edilen güç çok fazla ise çıkış gücü $G6_3$ olsun.
- Eğer potansiyel güç çok fazla ve talep edilen güç çok az ise çıkış gücü $G3_9$ olsun.
- Eğer potansiyel güç çok fazla ve talep edilen güç az ise çıkış gücü $G5_6$ olsun.
- Eğer potansiyel güç çok fazla ve talep edilen güç normal ise çıkış gücü $G6_4$ olsun.
- Eğer potansiyel güç çok fazla ve talep edilen güç fazla ise çıkış gücü $G7_1$ olsun.
- Eğer potansiyel güç çok fazla ve talep edilen güç çok fazla ise çıkış gücü $G7_2$ olsun.



Şekil 4.10. Beş üyelik kümeli çıkış gücü yüzdesi üyelik derecesi.

Şekil 4.10.'de gösterilen çıkış gücü yüzdesi üyelik derecesi Çizelge 4.6.'daki kural tabanına göre oluşturulmuştur. Buna göre $G3$ çıkış gücü yüzdesi %36, $G4$ çıkış gücü yüzdesi %16, $G5$ çıkış gücü yüzdesi %24, $G6$ çıkış gücü yüzdesi %16 ve $G7$ çıkış gücü yüzdesi %8'dir. Uygulanacak sistemde, türbinleri devreye alacak ya da devreden çıkaracak olan motorlu vanalar denetlenecektir (Elmas, Ç., 2007, Guler, I., 2008).

Şekil 4.12.'deki algoritmada sürekli bir döngü söz konusudur. P ve T değerlerinin üyelik derecelerine göre sistemin çıkış gücü hesaplanır. Bu sistemde öncelikle maksimum çıkış gücünden yola çıkılarak kademe kademe diğer çıkış güçlerine bakılır ve tekrar en başa dönlür. Çıkış gücü %92'den büyük ya da %100'e eşit ise maksimum güç olan $T1$, $T2$ ve $T3$ türbinleri devrededir. %75'den büyük ya da %92,5 eşit ise $T2$ ile $T3$ türbinleri devrededir. %51'den büyük ya da %76'ya eşit ise $T1$ ile $T3$ türbinleri devrededir. %35'ten büyük ya da %52'ye eşit ise sadece $T3$ türbini devrededir. %0'dan büyük ya da %36'ya eşit ise $T1$ ile $T2$ türbinleri devrededir.



Şekil 4.12. Beş üyelik kümeli BM akış diyagramı.

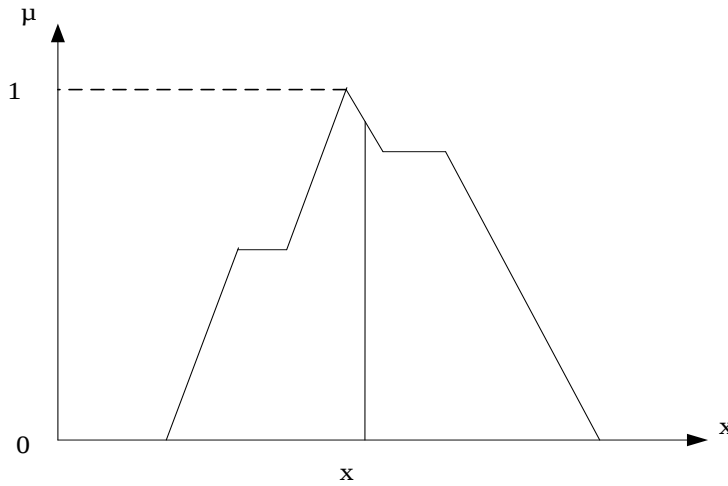
Bulanık çıkarımın sonucu bulanık kümedir. Bu sonucun tekrar sisteme uygulanması için giriş değeri gibi sayısal değere dönüştürülmesi gerekir. Bu işlem berraklaştırma olarak adlandırılır. Berraklaştırma birimi karar verme biriminden gelen bulanık bir bilgidan bulanık olmayan ve uygulamada kullanılacak gerçek değerlerin elde edilmesini sağlar.

Berraklaştırma işleminde değişik yöntemler kullanılmaktadır. Önce her kural için üyelik derecelerinden oluşan değer ve sonuç kural tespiti yapılır. Daha sonra en uygun yöntem seçilerek berraklaştırma yapılır. En çok kullanılan yöntemler, maksimum üyelik yöntemi, ağırlık merkezi yöntemi, ağırlık ortalaması yöntemi ve maksimum noktaların ortalaması yöntemidir. Yapılan çalışmada Mamdani yaklaşımı tercih edildiğinden berraklaştırma işleminde COG yöntemi kullanılmıştır (Elmas, Ç., 2007).

Ağırlık merkezi (sentroid) yöntemi: Ağırlık merkezi veya alan merkezi olarak da bilinen bu yöntem en yaygın kullanılan berraklaştırma yöntemidir ve denklem 4.4 ile ifade edilir (Elmas, Ç., 2007).

$$COG = \frac{\sum_{x=a}^b \mu_A(x) \cdot x}{\sum_{x=a}^b \mu_A(x)} \quad (4.4)$$

Ağırlık merkezi yönteminin grafiksel gösterimi Şekil 4.11.'da verilmiştir.



Şekil 4.11. Ağırlık merkezi yöntemi.

MATLAB-SIMULINK ortamında yapılan benzetimlerde Çizelge 4.7.'deki çıkış değerleri bulunmuştur. Bu algorithmada sürekli olarak geri bildirim ve kontrol vardır. Böylece sistem kendi kendine karar vererek hangi türbini devreye alacağını ya da hangisini devreden çıkaracağını belirler (Elmas, Ç., 2007, Guler, I., 2008).

Çizelge 4.7. Beş üyelik kümeli BM algoritmalı çalışmanın MATLAB-SIMULINK ortamında yapılan benzetimler sonucu elde edilen örnek çıkış güçleri.

Potansiyel Güç (<i>P</i>)	Talep Edilen Güç (<i>T</i>)	Elde Edilen Çıkış Gücü (<i>G</i>)	Devreye Girecek Türbin(ler)
400 kW	300 kW	<i>G</i> 3 (%20)	T1-T2
800 kW	900 kW	<i>G</i> 5 (%73,3)	T1-T3
1000 kW	1150 kW	<i>G</i> 6 (%87,5)	T2-T3

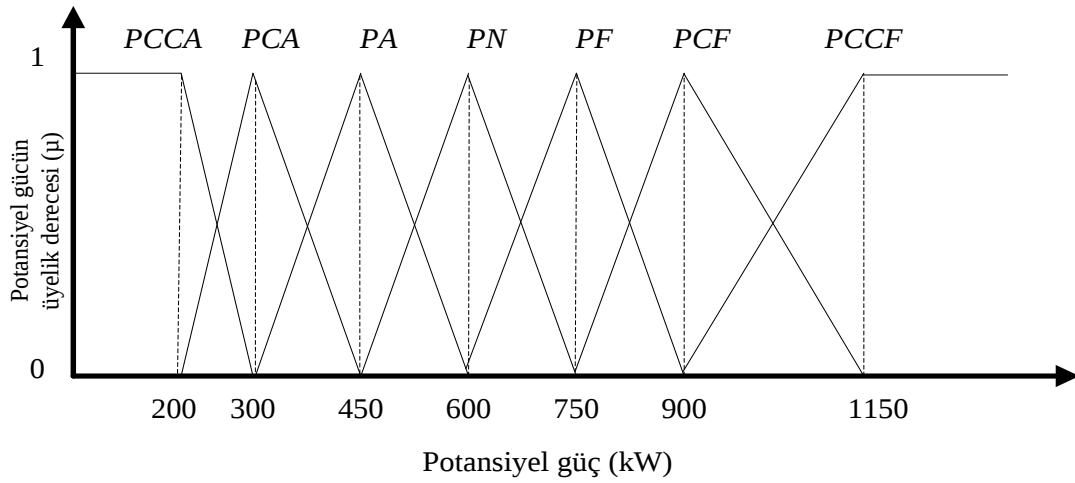
4.5.2. Çalışmanın yedi üyelik kümeli bulanık algoritması

Yedi üyelik kümeli bulanık algortmada da giriş üyelik kümeleri olan suyun potansiyel gücü (*P*) ile talep edilen güç (*T*) için üçgen ve yamuk fonksiyonu, çıkış birimi ve berraklaştırma için ağırlık merkezi yöntemi kullanılmıştır.

Suyun potansiyel gücü (*P*);

Barajın potansiyel gücünün üyelik kümeleri *PCCA*, *PCA*, *PA*, *PN*, *PF*, *PCF* ve *PCCF* Şekil 4.13’de gösterilmiştir. Burada beş tane üçgen ve iki tane yamuk şekil fonksiyonundan oluşan toplam yedi üyelik kümesini gösterir şekiller kullanılmıştır. Üyelik fonksiyonlarının karşılıkları da çok çok az, çok az, az, normal, fazla, çok fazla ve çok çok fazla şeklinde sınıflandırılmıştır. Gerekli hesaplamalar Çizelge 4.8’de gösterilmiştir (Elmas, Ç., 2007, Guler, I., 2008).

- *PCCA*: Potansiyel Çok Çok Az Güç (0-300 kW)
- *PCA* : Potansiyel Çok Az Güç (200-450 kW)
- *PA* : Potansiyel Az Güç (300-600 kW)
- *PN* : Potansiyel Normal Güç (450-750 kW)
- *PF* : Potansiyel Fazla Güç (600-900 kW)
- *PCF* : Potansiyel Çok Fazla Güç (750-1150 kW)
- *PCCF*: Potansiyel Çok Çok Fazla Güç (900-1150 kW)



Şekil 4.13. Yedi üyelik kümeli potansiyel güç üyelik derecesi.

Çizelge 4.8. Yedi üyelik kümeli potansiyel güç üyelik kümeleri.

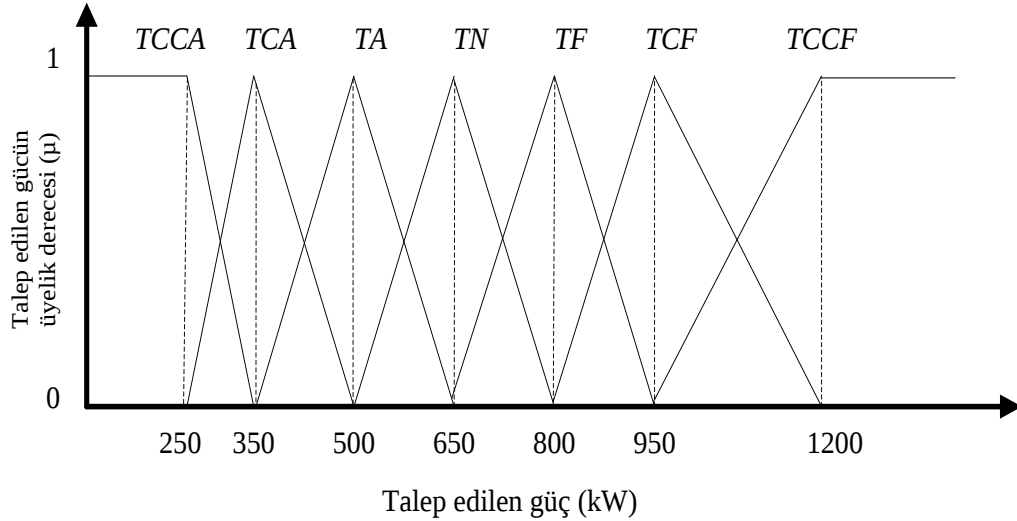
Üyelik Kümeleri	Fonksiyon	Değer Aralığı
<i>PCCA</i>	$\mu(x)=1$ $\mu(x)=(300-x)/(300-200)$	$x \leq 200$ $200 \leq x \leq 300$
<i>PCA</i>	$\mu(x)=(x-200)/(300-200)$ $\mu(x)=(450-x)/(450-300)$	$200 \leq x \leq 300$ $300 \leq x \leq 450$
<i>PA</i>	$\mu(x)=(x-300)/(450-300)$ $\mu(x)=(600-x)/(600-450)$	$300 \leq x \leq 450$ $450 \leq x \leq 600$
<i>PN</i>	$\mu(x)=(x-450)/(600-450)$ $\mu(x)=(750-x)/(750-600)$	$450 \leq x \leq 600$ $600 \leq x \leq 750$
<i>PF</i>	$\mu(x)=(x-600)/(750-600)$ $\mu(x)=(900-x)/(900-750)$	$600 \leq x \leq 750$ $750 \leq x \leq 900$
<i>PCF</i>	$\mu(x)=(x-750)/(900-750)$ $\mu(x)=(1150-x)/(1150-900)$	$750 \leq x \leq 900$ $900 \leq x \leq 1150$
<i>PCCF</i>	$\mu(x)=(x-900)/(1150-900)$ $\mu(x)=1$	$900 \leq x \leq 1150$ $x \geq 1150$

Talep edilen güç (T):

Barajdan talep edilen gücün üyelik kümeleri *TCCA*, *TCA*, *TA*, *TN*, *TF*, *TCF* ve *TCCF* olup Şekil 4.14.'de gösterilmiştir. Burada da beş tane üçgen ve iki tane yamuk şekil fonksiyonundan oluşan toplam yedi üyelik kümesini gösterir şekiller kullanılmıştır. Talep edilen güç de potansiyel güç ile paralellik olması için beş üyelik kümeli hesaplamadan farklı

olarak 0-1200 kW arası alınmıştır. Üyelik fonksiyonlarının karşılıkları da potansiyel güçte olduğu gibi çok çok az, çok az, az, normal, fazla, çok fazla ve çok çok fazla şeklinde sınıflandırılmıştır. Gerekli hesaplamalar Çizelge 4.9.'da gösterilmiştir. Örneğin; *TA* üyelik derecesi 0.69 ve *TN* üyelik derecesi 0.30 ise talep edilen güç yaklaşık 550 kW olur (Elmas, Ç., 2007, Guler, I., 2008).

- *TCCA*: Talep Edilen Güç Çok Çok Az (0-350 kW)
- *TCA* : Talep Edilen Güç Çok Az Güç (250-500 kW)
- *TA* : Talep Edilen Güç Az Güç (350-650 kW)
- *TN* : Talep Edilen Güç Normal Güç (500-800 kW)
- *TF* : Talep Edilen Güç Fazla Güç (650-950 kW)
- *TCF* : Talep Edilen Güç Çok Fazla Güç (800-1200 kW)
- *TCCF*: Talep Edilen Güç Çok Çok Fazla Güç (950-1200 kW)



Şekil 4.14. Yedi üyelik kümeli talep edilen güç üyelik derecesi.

Çizelge 4.9. Yedi üyelik kümeli talep edilen güç üyelik kümeleri.

Üyelik Kümeleri	Fonksiyon	Değer Aralığı
<i>TCCA</i>	$\mu(x)=1$ $\mu(x)=(350-x)/(350-250)$	$x \leq 250$ $250 \leq x \leq 350$
<i>TCA</i>	$\mu(x)=(x-250)/(350-250)$ $\mu(x)=(500-x)/(500-350)$	$250 \leq x \leq 350$ $350 \leq x \leq 500$
<i>TA</i>	$\mu(x)=(x-350)/(500-350)$ $\mu(x)=(650-x)/(650-500)$	$350 \leq x \leq 500$ $500 \leq x \leq 650$
<i>TN</i>	$\mu(x)=(x-500)/(650-500)$ $\mu(x)=(800-x)/(800-650)$	$500 \leq x \leq 650$ $650 \leq x \leq 800$
<i>TF</i>	$\mu(x)=(x-650)/(800-650)$ $\mu(x)=(950-x)/(950-800)$	$650 \leq x \leq 800$ $800 \leq x \leq 950$
<i>TCF</i>	$\mu(x)=(x-800)/(950-800)$ $\mu(x)=(1200-x)/(1200-950)$	$800 \leq x \leq 950$ $950 \leq x \leq 1200$
<i>TCCF</i>	$\mu(x)=(x-950)/(1200-950)$ $\mu(x)=1$	$950 \leq x \leq 1200$ $x \geq 1200$

Kural tabanı ve berraklaştırma;

- *G1* : 250 kW (T1 türbini devrede)
- *G2* : 400 kW (T2 türbini devrede)
- *G3* : 650 kW (T1 ve T2 türbinleri devrede)
- *G4* : 750 kW (T3 türbini devrede)
- *G5* : 1000 kW (T1 ve T3 türbinleri devrede)
- *G6* : 1150 kW (T2 ve T3 türbinleri devrede)
- *G7* : 1400 kW (T1, T2 ve T3 türbinleri devrede)

Kural tabanındaki iki giriş bilgisine karşılık gelen çıkış üyelik kümeleri Şekil 4.12. ve Şekil 4.13.'e göre *G1*, *G2*, *G3*, *G4*, *G5*, *G6* ve *G7* olarak belirlenmiştir. Bulanık algoritmadaki değerler kullanıcının veya programcının tecrübesi ve öngörüsüne göre tespit edilir. Beş üyelik

kümeli bulanık algoritma hesaplamasına göre, yedi üyelik kümeli hesaplama daha hassas bir çıkış vermiştir. Çizelge 4.10.'daki yedi üyelik kümeli kural tabanının bulanık çıkarım algoritması beş üyelik kümeli algoritmadaki gibi hesaplanmıştır. Ayrıca çıkış güçlerinin karşılığı olan türbinler yukarıda belirtilmiştir. MATLAB-SIMULINK'te yapılan çıkış gücü hesaplamasında yine ağırlık merkezi yöntemi uygulanmıştır (Elmas, Ç., 2007, Guler, I., 2008).

Çizelge 4.10. Yedi üyelik kümeli kural tabanı.

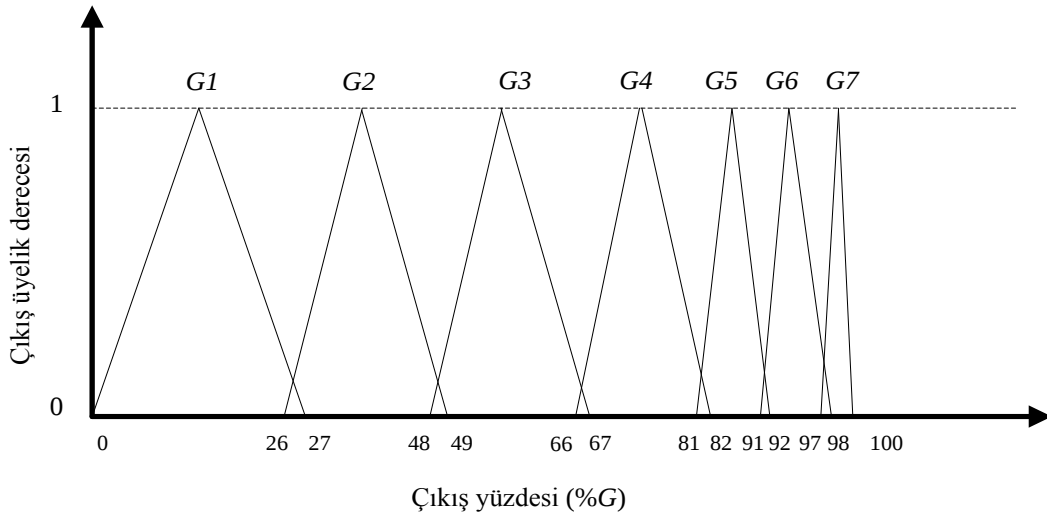
	<i>TCCA</i>	<i>TCA</i>	<i>TA</i>	<i>TN</i>	<i>TF</i>	<i>TCF</i>	<i>TCCF</i>
<i>PCCA</i>	$G1_1$	$G1_2$	$G1_3$	$G1_4$	$G1_5$	$G1_6$	$G1_7$
<i>PCA</i>	$G1_8$	$G2_1$	$G2_2$	$G2_3$	$G2_4$	$G2_5$	$G2_6$
<i>PA</i>	$G1_9$	$G2_7$	$G3_1$	$G3_2$	$G3_3$	$G3_4$	$G3_5$
<i>PN</i>	$G1_{10}$	$G2_8$	$G3_6$	$G4_1$	$G4_2$	$G4_3$	$G4_4$
<i>PF</i>	$G1_{11}$	$G2_9$	$G3_7$	$G4_5$	$G5_1$	$G5_2$	$G5_3$
<i>PCF</i>	$G1_{12}$	$G2_{10}$	$G3_8$	$G4_6$	$G5_4$	$G6_1$	$G6_2$
<i>PCCF</i>	$G1_{13}$	$G2_{11}$	$G3_9$	$G4_7$	$G5_5$	$G6_3$	$G7$

Yedi üyelik kümeli bulanık çıkarımın algoritması aşağıda verilmiştir;

- Eğer potansiyel güç çok çok az ve talep edilen güç çok çok az ise çıkış gücü $G1_1$ olsun.
- Eğer potansiyel güç çok çok az ve talep edilen güç çok az ise çıkış gücü $G1_2$ olsun.
- Eğer potansiyel güç çok çok az ve talep edilen güç az ise çıkış gücü $G1_3$ olsun.
- Eğer potansiyel güç çok çok az ve talep edilen güç normal ise çıkış gücü $G1_4$ olsun.
- Eğer potansiyel güç çok çok az ve talep edilen güç fazla ise çıkış gücü $G1_5$ olsun.
- Eğer potansiyel güç çok çok az ve talep edilen güç çok fazla ise çıkış gücü $G1_6$ olsun.
- Eğer potansiyel güç çok çok az ve talep edilen güç çok çok fazla ise çıkış gücü $G1_7$ olsun.
- Eğer potansiyel güç çok az ve talep edilen güç çok çok az ise çıkış gücü $G1_8$ olsun.
- Eğer potansiyel güç çok az ve talep edilen güç çok az ise çıkış gücü $G2_1$ olsun.
- Eğer potansiyel güç çok az ve talep edilen güç az ise çıkış gücü $G2_2$ olsun.

- Eğer potansiyel güç çok az ve talep edilen güç normal ise çıkış gücü $G2_3$ olsun.
- Eğer potansiyel güç çok az ve talep edilen güç fazla ise çıkış gücü $G2_4$ olsun.
- Eğer potansiyel güç çok az ve talep edilen güç çok fazla ise çıkış gücü $G2_5$ olsun.
- Eğer potansiyel güç çok az ve talep edilen güç çok çok fazla ise çıkış gücü $G2_6$ olsun.
- Eğer potansiyel güç az ve talep edilen güç çok çok az ise çıkış gücü $G1_9$ olsun.
- Eğer potansiyel güç az ve talep edilen güç çok az ise çıkış gücü $G2_7$ olsun.
- Eğer potansiyel güç az ve talep edilen güç az ise çıkış gücü $G3_1$ olsun.
- Eğer potansiyel güç az ve talep edilen güç normal ise çıkış gücü $G3_2$ olsun.
- Eğer potansiyel güç az ve talep edilen güç fazla ise çıkış gücü $G3_3$ olsun.
- Eğer potansiyel güç az ve talep edilen güç çok fazla ise çıkış gücü $G3_4$ olsun.
- Eğer potansiyel güç az ve talep edilen güç çok çok fazla ise çıkış gücü $G3_5$ olsun.
- Eğer potansiyel güç normal ve talep edilen güç çok çok az ise çıkış gücü $G1_{10}$ olsun.
- Eğer potansiyel güç normal ve talep edilen güç çok az ise çıkış gücü $G2_8$ olsun.
- Eğer potansiyel güç normal ve talep edilen güç az ise çıkış gücü $G3_6$ olsun.
- Eğer potansiyel güç normal ve talep edilen güç normal ise çıkış gücü $G4_1$ olsun.
- Eğer potansiyel güç normal ve talep edilen güç fazla ise çıkış gücü $G4_2$ olsun.
- Eğer potansiyel güç normal ve talep edilen güç çok fazla ise çıkış gücü $G4_3$ olsun.
- Eğer potansiyel güç normal ve talep edilen güç çok çok fazla ise çıkış gücü $G4_4$ olsun.
- Eğer potansiyel güç fazla ve talep edilen güç çok çok az ise çıkış gücü $G1_{11}$ olsun.
- Eğer potansiyel güç fazla ve talep edilen güç çok az ise çıkış gücü $G2_9$ olsun.
- Eğer potansiyel güç fazla ve talep edilen güç az ise çıkış gücü $G3_7$ olsun.
- Eğer potansiyel güç fazla ve talep edilen güç normal ise çıkış gücü $G4_5$ olsun.
- Eğer potansiyel güç fazla ve talep edilen güç fazla ise çıkış gücü $G5_1$ olsun.
- Eğer potansiyel güç fazla ve talep edilen güç çok fazla ise çıkış gücü $G5_2$ olsun.
- Eğer potansiyel güç fazla ve talep edilen güç çok çok fazla ise çıkış gücü $G5_3$ olsun.
- Eğer potansiyel güç çok fazla ve talep edilen güç çok çok az ise çıkış gücü $G1_{12}$ olsun.
- Eğer potansiyel güç çok fazla ve talep edilen güç çok az ise çıkış gücü $G2_{10}$ olsun.
- Eğer potansiyel güç çok fazla ve talep edilen güç az ise çıkış gücü $G3_8$ olsun.
- Eğer potansiyel güç çok fazla ve talep edilen güç normal ise çıkış gücü $G4_6$ olsun.
- Eğer potansiyel güç çok fazla ve talep edilen güç fazla ise çıkış gücü $G5_4$ olsun.
- Eğer potansiyel güç çok fazla ve talep edilen güç çok fazla ise çıkış gücü $G6_1$ olsun.
- Eğer potansiyel güç çok fazla ve talep edilen güç çok çok fazla ise çıkış gücü $G6_2$ olsun.
- Eğer potansiyel güç çok çok fazla ve talep edilen güç çok çok az ise çıkış gücü $G1_{13}$ olsun.

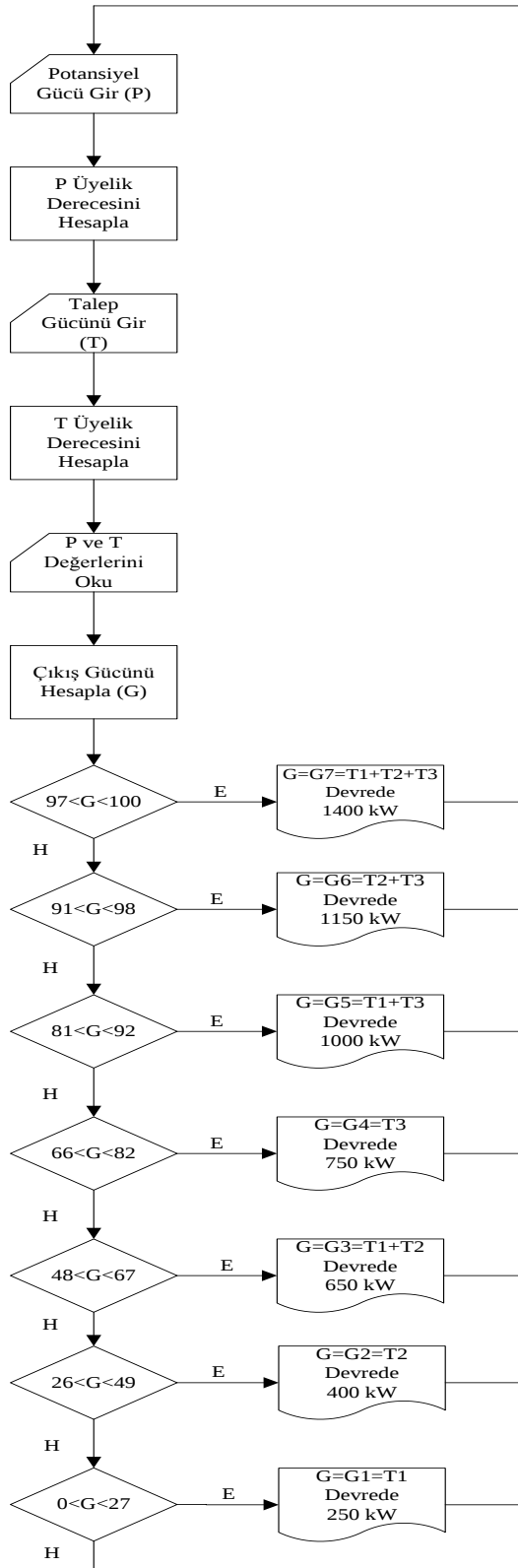
- Eğer potansiyel güç çok çok fazla ve talep edilen güç çok az ise çıkış gücü G_{211} olsun.
- Eğer potansiyel güç çok çok fazla ve talep edilen güç az ise çıkış gücü G_{39} olsun.
- Eğer potansiyel güç çok çok fazla ve talep edilen normal ise çıkış gücü G_{47} olsun.
- Eğer potansiyel güç çok çok fazla ve talep edilen güç fazla ise çıkış gücü G_{55} olsun.
- Eğer potansiyel güç çok çok fazla ve talep edilen güç çok fazla ise çıkış gücü G_{63} olsun.
- Eğer potansiyel güç çok çok fazla ve talep edilen güç çok çok fazla ise çıkış gücü G_7 olsun.



Şekil 4.15. Yedi üyelik kümeli çıkış gücü yüzdesi üyelik derecesi.

Şekil 4.15., Çizelge 4.10.'daki kural tabanına göre oluşturulmuştur. Buna göre G_1 çıkış gücü yüzdesi %27, G_2 çıkış gücü yüzdesi %22, G_3 çıkış gücü yüzdesi %12, G_4 çıkış gücü yüzdesi %15, G_5 çıkış gücü yüzdesi %10, G_6 çıkış gücü yüzdesi %6 ve G_7 çıkış gücü yüzdesi %2'dir.

Şekil 4.16.'daki BM algoritmasında çıkış gücü %97'den büyük ya da %100'den küçük ise maksimum güç olan T1, T2 ve T3 türbinleri devrededir. Çıkış gücü %91'den büyük ya da %98'den küçük ise T2 ile T3 türbinleri devrededir. Çıkış gücü %81'den büyük ya da %92'den küçük ise T1 ile T3 türbinleri devrededir. Çıkış gücü %66'dan büyük ya da %82'den küçük ise sadece T3 türbini devrededir. Çıkış gücü %48'den büyük ya da %67'den küçük ise T1 ile T2 devrededir. Çıkış gücü %26'dan büyük ya da %49'dan küçük ise T2 devrededir. Çıkış gücü %0'dan büyük ya da %27'den küçük ise sadece T1 türbini devrededir.



Şekil 4.16. Yedi üyelik kümeli BM akış diyagramı.

MATLAB-SIMULINK ortamında yapılan benzetimlerde Çizelge 4.11.'deki çıkış değerleri bulunmuştur.

Çizelge 4.11. Yedi üyelik kümeli BM algoritmali çalışmanın MATLAB-SIMULINK ortamında yapılan benzetimler sonucu elde edilen örnek çıkış güçleri.

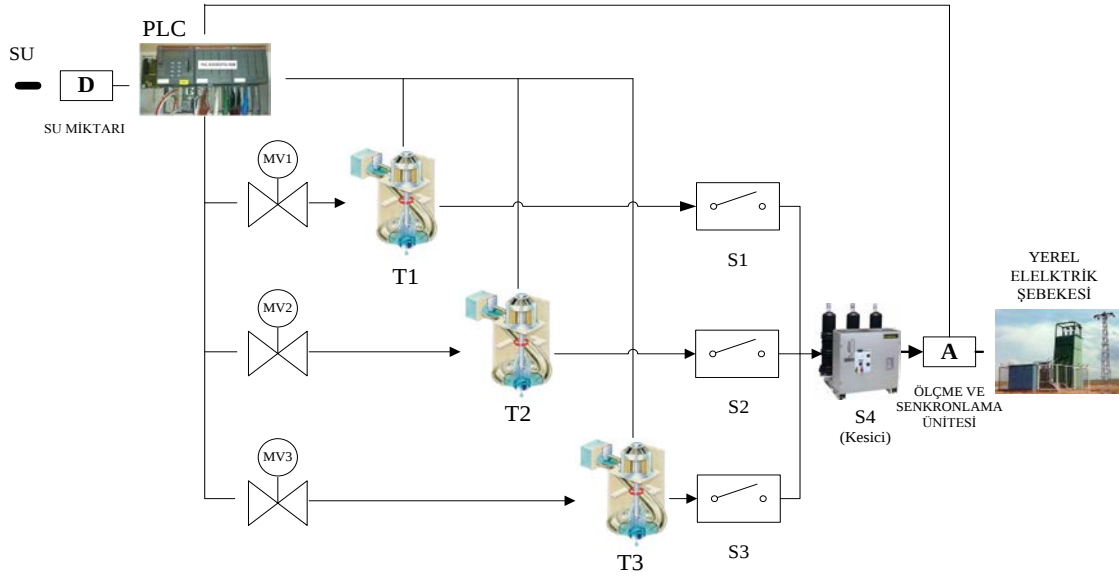
Potansiyel Güç (<i>P</i>)	Talep Edilen Güç (<i>T</i>)	Elde Edilen Çıkış Gücü (<i>G</i>)	Devreye Girecek Türbin(ler)
225 kW	450 kW	<i>G</i> 1 (%21,2)	T1
600 kW	500 kW	<i>G</i> 2 (%55)	T1-T2
1000 kW	1500 kW	<i>G</i> 6 (%95,8)	T2-T3
1100 kW	1200 kW	<i>G</i> 6 (%97,6)	T2-T3
1125 kW	1200 kW	<i>G</i> 7 (%98,05)	T1-T2-T3

5. BM ALGORİTMANIN PLC PROGRAMI

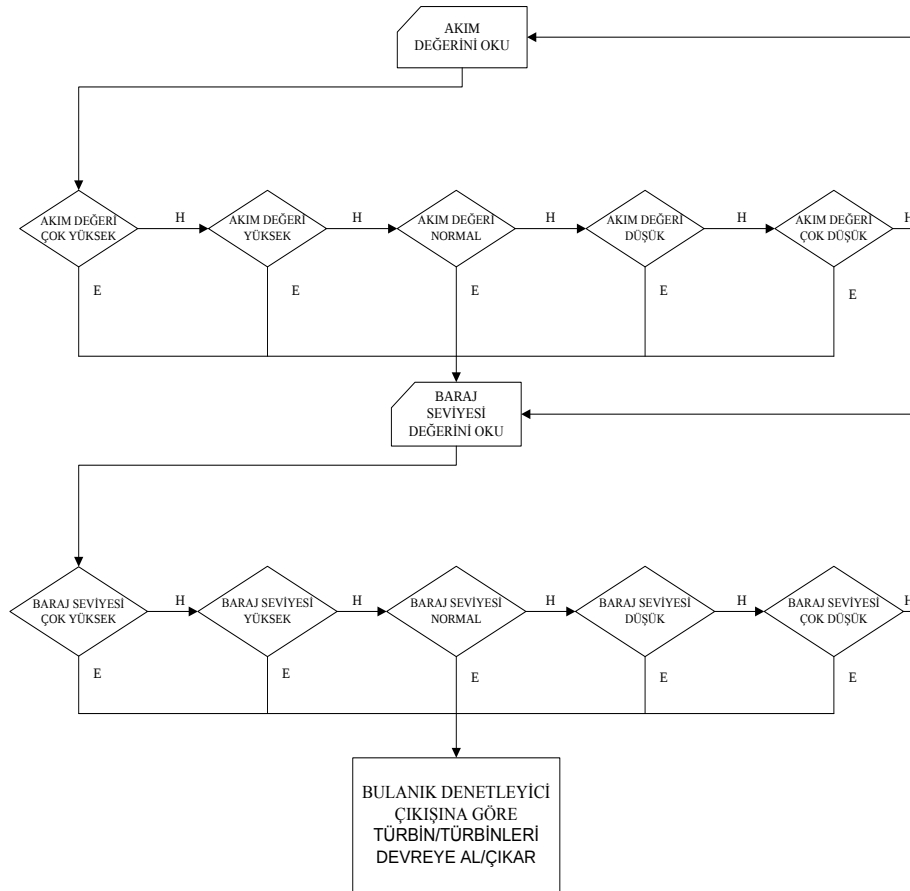
Şekil 5.1.'de PLC programı blok şeması görülmektedir. MV1, MV2 ve MV3 türbinleri devreye alan motorlu vanaları, T1, T2 ve T3 türbinleri, S1, S2 ve S3 alternatörleri yerel sisteme bağlayan akım kesicilerini, S4 santrali sistemi yerel elektrik şebekesine bağlayan kesiciyi göstermektedir. Ayrıca D bloğu su miktarını, A bloğu ise yük akım bilgisinin okunduğu ölçme ve sistemin yerel elektrik şebekesine bağlanabilme şartlarının izlendiği senkronlama ünitesini ifade etmektedir.

Sisteme entegre edecek S4 kesicisi kapatılmadan önce türbinlerin önündeki vanalar açılarak ilgili alternatörler üretime hazır hale getirilir. Başlangıç aşamasında sistem baraj doluluk seviyesine göre maksimum üretilebilecek potansiyel elektrik gücünü belirleyip, bu oranda devreye maksimum sayıda türbini alarak çalışmaya başlar. Sistem tarafından türbinlerin devreye alınmasının ardından akım kesicileri kapalı konuma getirilir. Şebeke bağlantı barasındaki akım trafolarından alınan akım bilgisi, PLC aracılığı ile işlenerek belirli bir süre boyunca yük ihtiyacı izlenir. Sisteme bağlı yüklerin kararlı hale gelme süresi gözlem yapılarak belirlenir. Belirlenen süre sonunda sistemde kararsızlık var ise PLC süreyi tekrar başlatır (Guler, I., 2008, Aslan, Y., 2011).

Bu işlemlerden sonra sonsuz döngüdeki BM algoritması devreye girer. Şekil 5.2.'de PLC programının bulanık kontrol kısmı, yük akımının izlenmesi, baraj seviyesinin izlenmesi ve PLC kontrollü motorlu vana blokları arasında gerçekleşmektedir. Şekil 5.1.'deki PLC akış diyagramında görüldüğü gibi alınan akım değerleri ile su miktarına göre türbinlerin kontrolü başlar. Alınan akım değerleri PLC karar bloğunda işlenir ve kaç türbinin kalacağı belirlenir. Devreden çıkacak türbin var ise ilgili akım kesici açılarak sistemde ihtiyacı karşılayacak kapasitede türbin bırakılmış olur. Senkronlama ünitesi üzerinden yerel şebekeye bağlanan sistemdeki kapalı döngü BM algoritmasında da görüldüğü gibi sürekli olarak tekrar eder (Guler, I., 2008, Aslan, Y., 2011).



Şekil 5.1. PLC programı blok şeması.



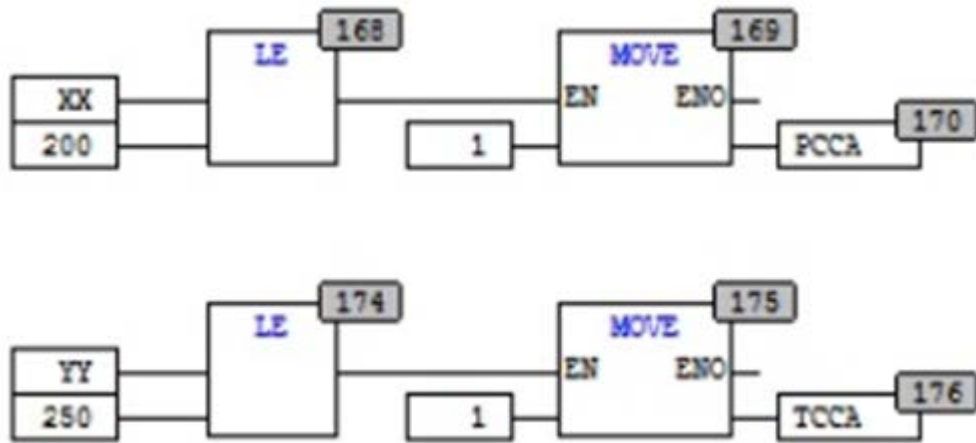
Şekil 5.2. PLC programı akış diyagramı.

5.1. PLC Ve Program Yazılımı

Yapılan çalışmada ABB marka PLC'nin AC500 AX522 8 AI/8 AO ve DC532 16DI/16DC (DC - IN/OUT seçilebilir) özellikli AC500 PM571 CPU modeli kullanılmıştır.

PLC yazılımı olarak birçok PLC markasının ortak yazılım dili olan ve programcı için esnek ve basit bir yazılım imkânı sunan, aynı zamanda projede kullanılan ABB marka PLC'nin de program editörü olan CoDeSys (Controlled Development System, Kontrollü Geliştirme Sistemi) yazılım dili kullanılmıştır. Çalışmadaki BM algoritmayı daha uygun bir şekilde PLC'de yazabilmek için ise CoDeSys'in CFC (The Continuous Function Chart Editor, Sürekli Fonksiyon Grafik Editörü) dili kullanılmıştır. CFC dili, bloğun içi algoritmaya uygun ve istenilen şekilde yazılabildiğinden FBD (Function Block Diagram, Fonksiyon Blok Diyagram) diline göre daha esnek bir kullanım kolaylığı sağlamaktadır (<http://www.parkermotion.com>).

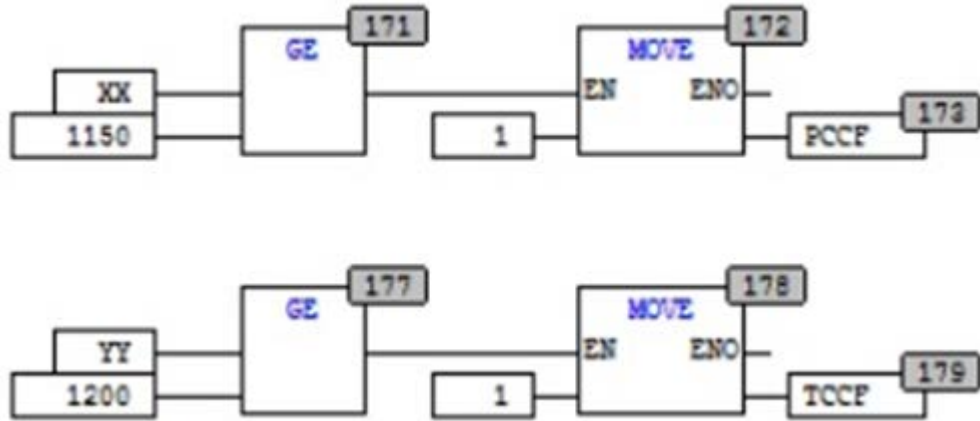
Yedi üyelik fonksiyonlu BM algoritmanın PLC yazılımı Şekil 5.3. ile Şekil 5.13. arasında CFC dilinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.3. PCCA ve TCCA üyelik fonksiyonlarının CFC dilindeki PLC yazılımları.

Şekil 5.3.'de 170 no.lu PCCA üyelik fonksiyonu incelendiğinde; 'Potansiyel güç 200'den küçük ve eşit ise PCCA'a 1 çıkışını ver' şeklindedir.

Şekil 5.3.'de 176 no.lu TCCA üyelik fonksiyonu incelendiğinde de; 'Talep edilen güç 250'den küçük ve eşit ise TCCA'a 1 çıkışını ver' şeklindedir.

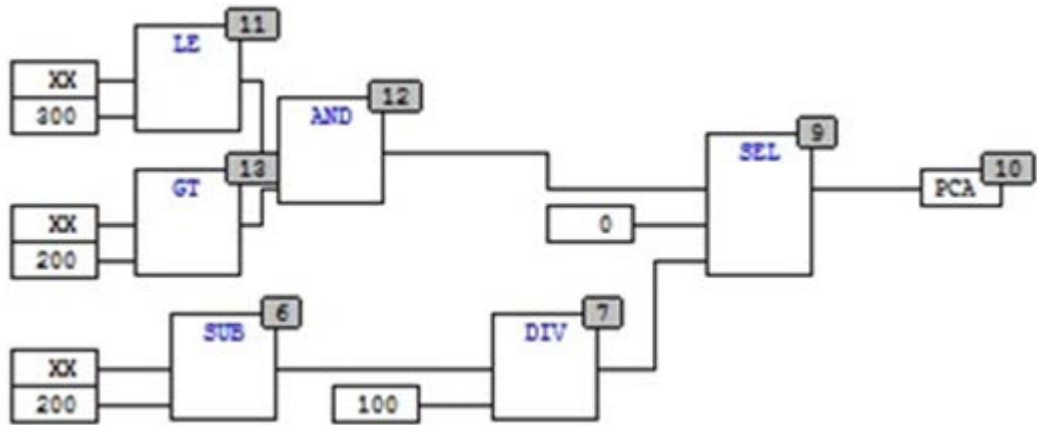


Şekil 5.4. PCCF ve TCCF üyelik fonksiyonlarının CFC dilindeki PLC yazılımları.

Şekil 5.4.'de 173 no.lu PCCF üyelik fonksiyonu incelendiğinde; 'Potansiyel güç 1150'den büyük ve eşit ise PCCF'ya 1 çıkışını ver' şeklindedir.

Şekil 5.4.'deki 179 no.lu TCCF üyelik fonksiyonu incelendiğinde ise; 'Talep edilen güç 1200'den büyük ve eşit ise TCCF'ya 1 çıkışını ver' şeklindedir.

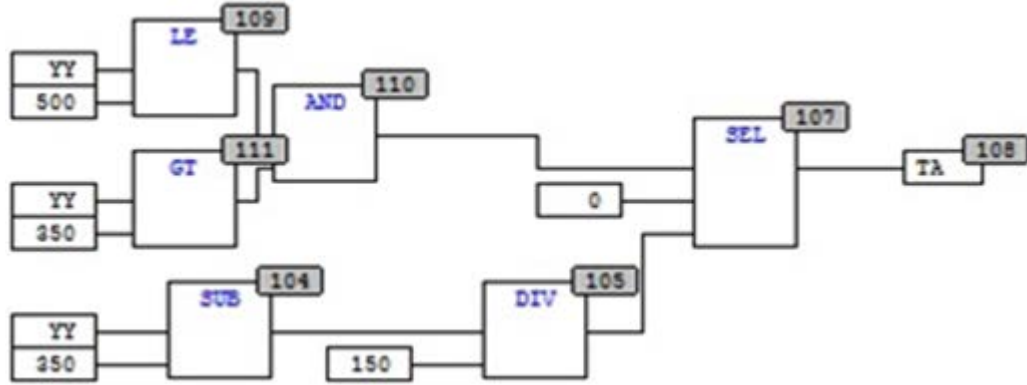
Şekil 5.5.'de örnek olarak 10 no.lu PCA üyelik fonksiyonu incelendiğinde; 'Potansiyel güç 300'den küçük ve eşit, 200'den büyük ise giriş değerini 200'den çıkar, 100'e böl, değilse 0 (sıfır) çıkışını ver' şeklindedir. PA, PN, PF ve PCF üyelik kümelerinde de benzer şekilde CFC dilinde PLC yazılımları yapılmıştır.



Şekil 5.5. PCA üyelik fonksiyonunun CFC dilindeki PLC yazılımı.

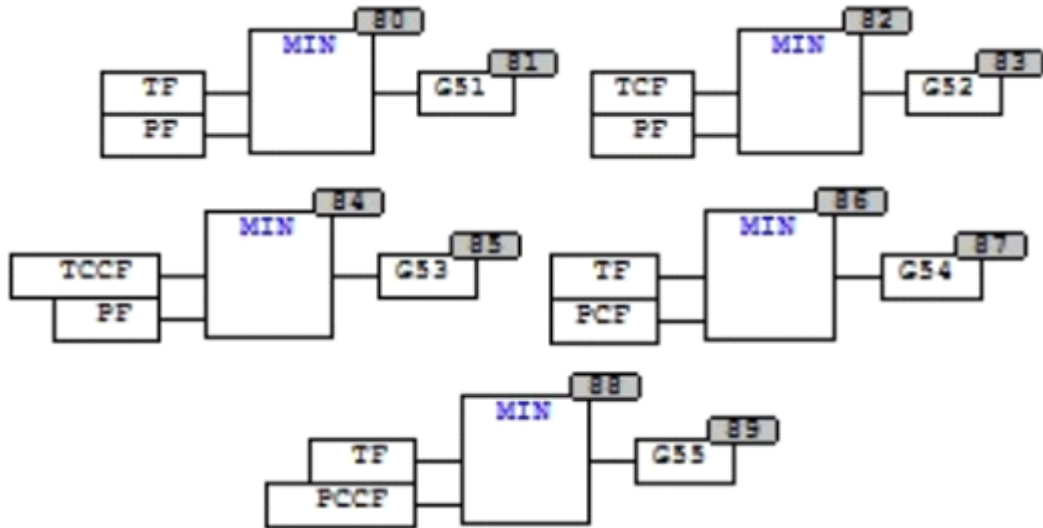
Şekil 5.6.'da örnek olarak 108 no.lu TA üyelik fonksiyonu incelendiğinde; 'Talep edilen güç 500'den küçük ve eşit, 350'den büyük ise giriş değerini 350'den çıkar ve 150'ye böl,

değilse 0 (sıfır) çıkışını ver' şeklindedir. *TCA*, *TN*, *TF* ve *TCF* üyelik kümelerinde de benzer şekilde CFC dilinde PLC yazılımları yapılmıştır.

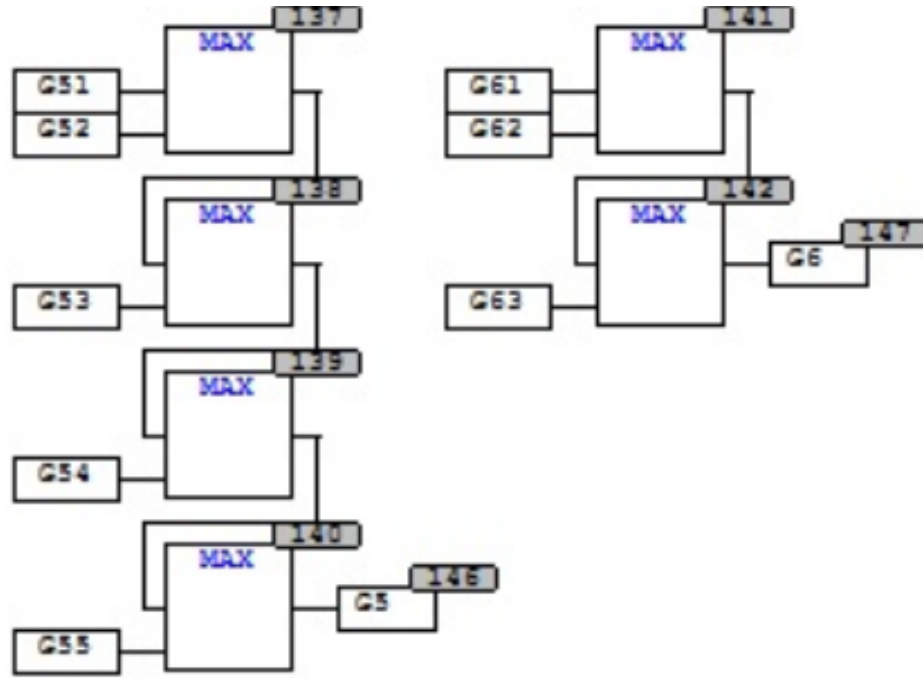


Şekil 5.6. *TA* üyelik fonksiyonunun CFC dilindeki PLC yazılımı.

Yedi üyelik kümeli BM algoritmada berraklaştırma için kullanılan kural tabanında örnek olarak alınan *G5* çıkış değerinden beş adet mevcuttur. Şekil 5.7.'de giriş üyelik kümelerinin minimumlarını belirleyebilmek için örnek olarak alınan *G5* çıkışları *G5₁*, *G5₂*, *G5₃*, *G5₄* ve *G5₅* şeklinde tanımlanmıştır ve CFC dilinde PLC yazılımları yapılmıştır. *G1*, *G2*, *G3*, *G4*, *G6* ve *G7* çıkış değerleri de benzer şekilde yazılmıştır.



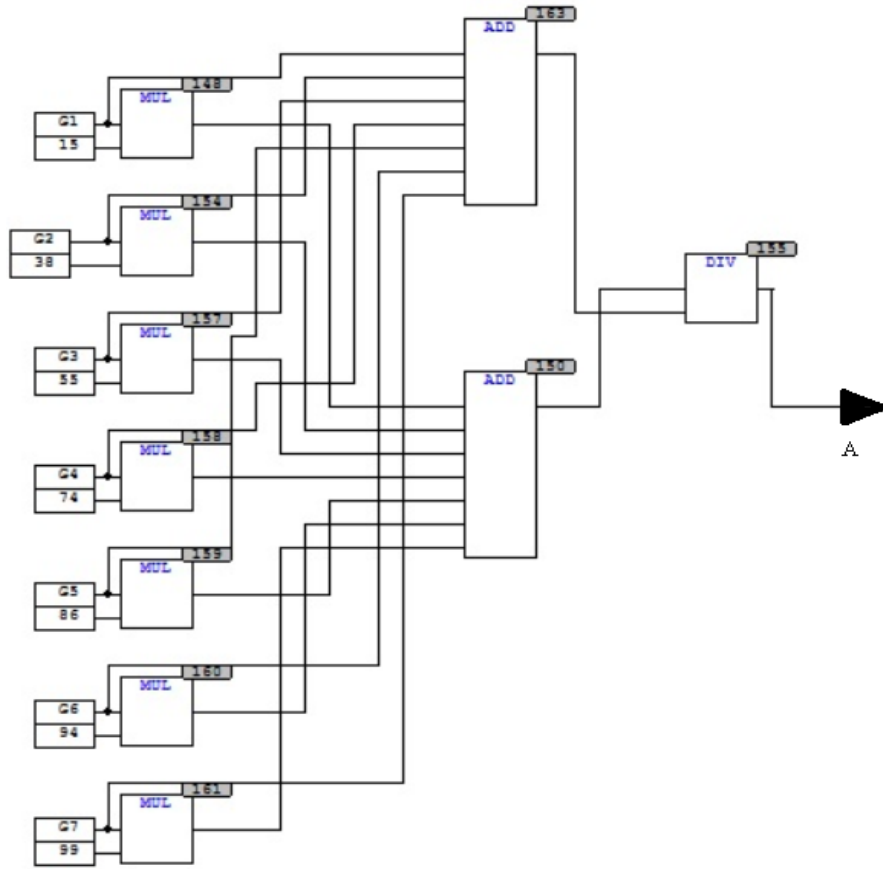
Şekil 5.7. *G51*, *G52*, *G53*, *G54* ve *G55*'in Min-Max yönteminde CFC dilindeki PLC yazılımı.



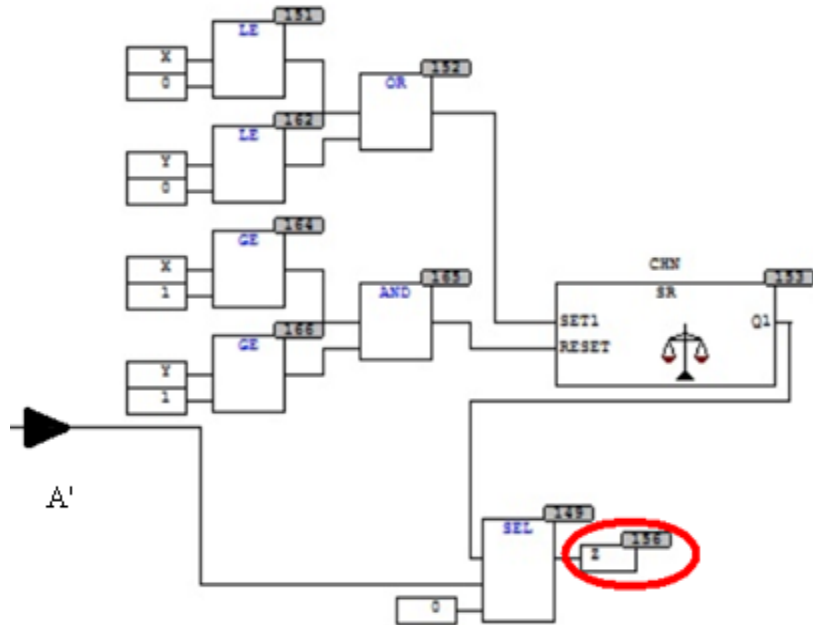
Şekil 5.8. G5'in Min-Max yönteminde CFC dilindeki PLC yazılımı.

Şekil 5.8.'de bulunan örnek minimum $G5_1$, $G5_2$, $G5_3$, $G5_4$ ve $G5_5$ 'lerin maksimumları tespit edilerek uygun $G5$ çıkışı elde edilmiş olur. $G1$, $G2$, $G3$, $G4$, $G6$ ve $G7$ çıkış değerlerinin maksimumları da aynı şekilde tespit edilir.

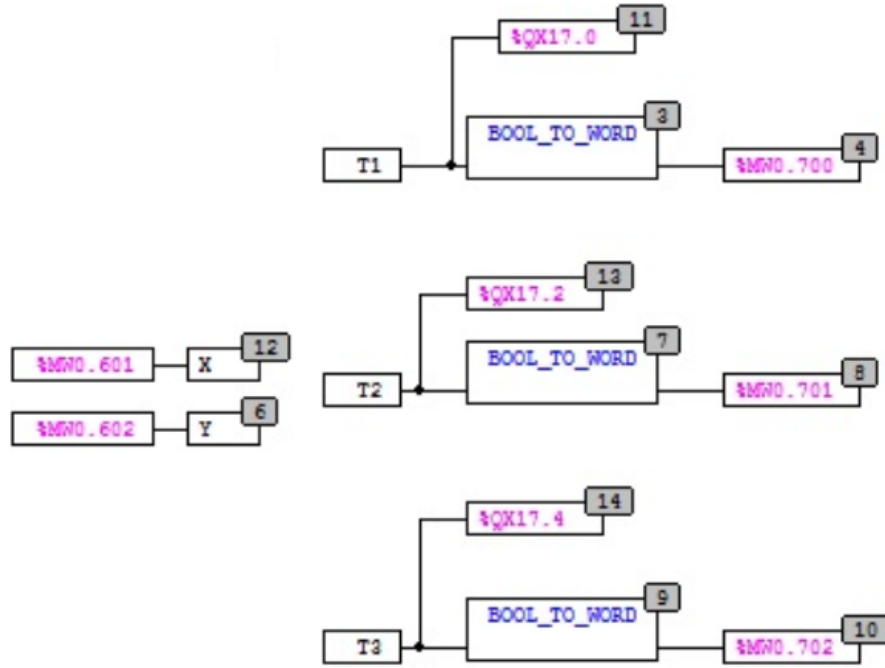
Tespit edilen $G1$, $G2$, $G3$, $G4$, $G5$, $G6$ ve $G7$ çıkış değerleri Şekil 5.9.'da ağırlık ortalaması fonksiyonuna (denklem 4.4) sokularak Şekil 5.10.'daki 'z çıkış yüzdesi' bulunur. Bulunan yüzdelik değerlere göre hangi türbin/türbinlerin devrede olacağına/olmayacağına PLC karar verir.



Şekil 5.9. Ağırlık ortalaması yöntemine göre gerçekleştirilen berraklaştırmanın CFC dilindeki PLC yazılımı.



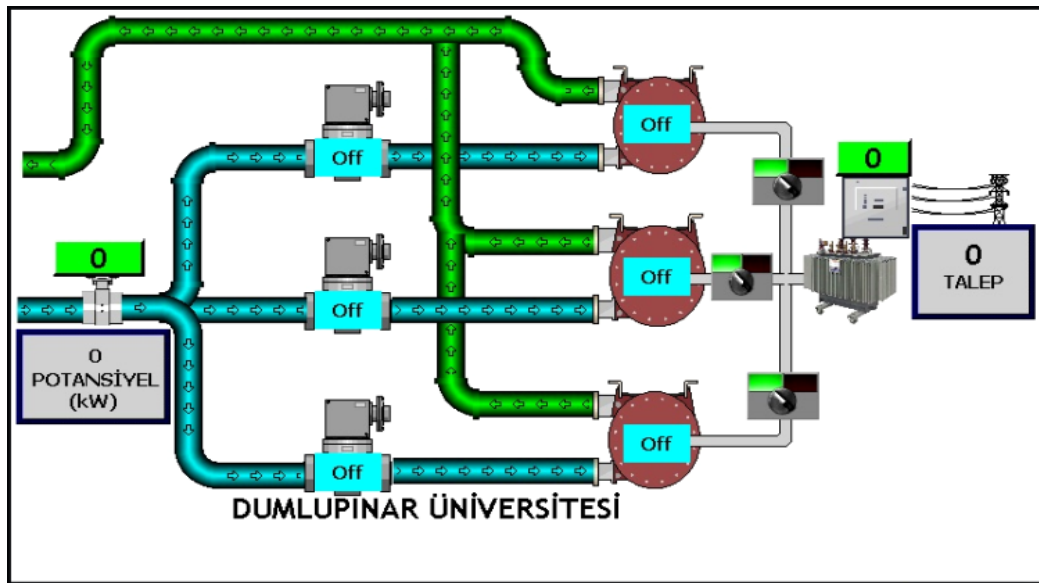
Şekil 5.10. 'z çıkış yüzdesi'nin CFC dilindeki PLC yazılımı.



Şekil 5.11. Giriş (X,Y) ve çıkış (T1, T2, T3) değerlerinin PLC programı arayüzü.

Program içerisinde, yapılan çalışmadaki giriş değerlerinin yazılabildiği ve çıkışın görülebildiği, ilgili bloğa tıklandığında program detayına ulaşılabilirdiği ve programların adreslendiği PLC programının arayüzü Şekil 5.11.'de görülmektedir.

5.2. Çalışmanın HMI Tasarımı

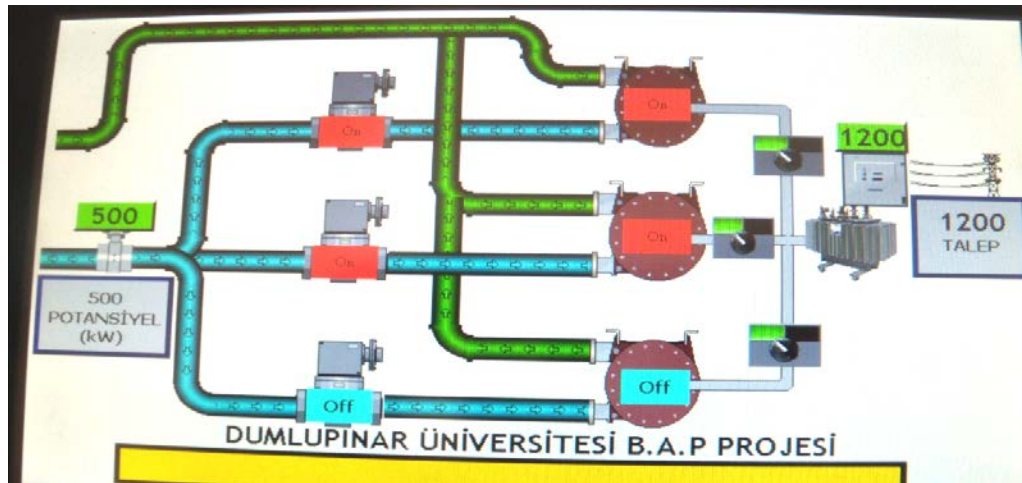


Şekil 5.12. HMI Tasarım.

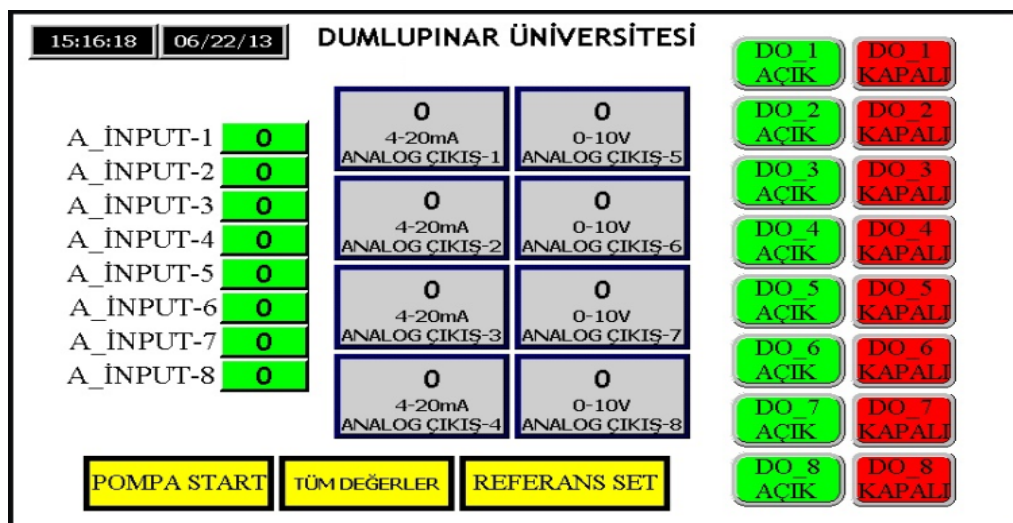
Şekil 5.12.'de yapılan çalışmanın temel sistemini gösteren, Şekil 5.1.'deki PLC blok şemasının aktif hali olan HMI tasarımı görülmektedir. Giriş değerleri 'Potansiyel' ve 'Talep' bloklarına tıklanarak girilmektedir. Çıkış olarak türbinler ve vanalar görülmektedir. Şekil 5.12.'de potansiyel ve talep güçleri sıfır olarak girildiğinde vana ve türbinler 'Off' konumundadır.

Şekil 5.13.'de potansiyel güç olarak 500, talep güç olarak 1200 girildiğinde 250 kW'lık T_1 ve 400 kW'lık T_2 türbinleri devreye girmekte, 750 kW'lık T_3 türbini devre dışı kalmaktadır.

Şekil 5.14.'deki HMI ekranda, PLC'nin giriş ve çıkış birimleri daha sonra yazılabilecek programlara uygun hale getirilmiştir.

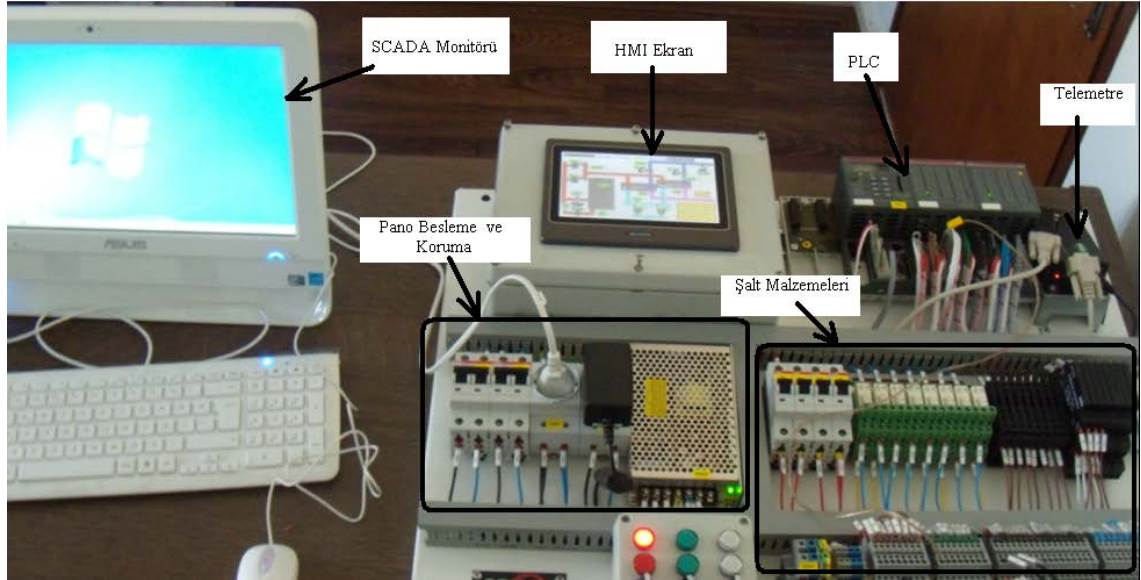


Şekil 5.13. HMI dokunmatik ekran aktif görüntüsü.



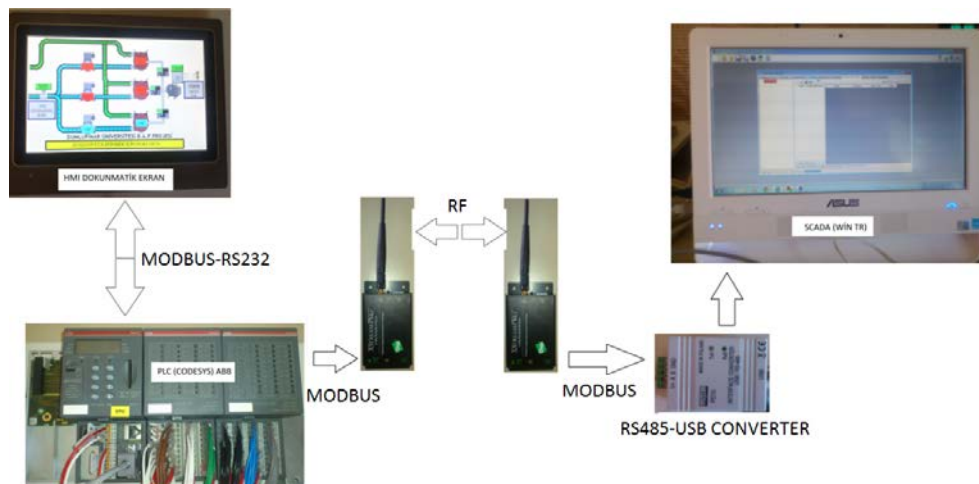
Şekil 5.14. PLC'nin giriş ve çıkış birimlerinin HMI ekranda gösterimi

5.3. Proje Uygulaması



Şekil 5.15. Proje uygulaması.

Şekil 5.15.'deki bilimsel araştırma projesi kapsamında yapılan çalışma, kumandayı gerçekleştiren PLC, sahada iken programı takip etmeyi sağlayan panoya montajlanmış HMI ekran, uzaktan haberleşmeyi sağlayan iki adet telemetre, gerekli besleme, koruma ve şalt malzemeleri ile veri toplama ve izleme merkezi olarak kullanılacak olan dokunmatik PC'den oluşmuştur. Şekil 5.18.'de görüldüğü gibi pano SCADA ile uzaktan haberleşip gerekli kontrol ve kumanda işlevlerini gerçekleştirmek üzere tasarlanmıştır.



Şekil 5.16. Projenin SCADA uygulaması.

Şekil 5.16.'daki projenin SCADA uygulamasında haberleşme için Modbus protokolü kullanılmıştır. HMI dokunmatik ekran ile PLC arasında RS-232 standardında, PLC ile telemetre ve PC ile diğer telemetre arasında RS-485 standardında haberleşme gerçekleştirilmiştir. PC ile telemetre arasındaki RS-485 standartlı haberleşmede USB/RS-485 dönüştürücü kullanılmıştır. Pano ile PC arasındaki kablosuz uzaktan haberleşme ve veri alışverişi ise 2,4 GHz frekanslı RS-232/485 standardında haberleşmeye uygun 7-18 VDC beslemeli radyo frekanslı telemetreler ile sağlanmıştır.

6. EKONOMİK ANALİZ

Denklem 4.1.'de hesaplanan hidro sistem çıkış gücüne göre belirlenen türbinler ve debileri Çizelge 6.1.'de verilmiştir. 250 kW'lık T1 türbininin maksimum üretim debisi $2 \text{ m}^3/\text{s}$, 400 kW'lık T2 türbininin maksimum üretim debisi $2,7 \text{ m}^3/\text{s}$ ve 750 kW'lık T3 türbininin maksimum üretim debisi $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir. Şekil 4.4.'deki türbin verim eğrileri de dikkate alınarak yapılan, 1150 kW'lık bir adet türbin kullanarak elektrik enerjisi üretimi ile beş ve yedi üyelik kümeli BM algoritmaları denetim sonucu üç adet türbin kullanarak elektrik enerjisi üretimi hesaplamaları Çizelge 6.1.'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Türbin güçlerine göre maksimum üretim debileri.

Türbin Gücü (kW)	250 kW (T1)	400 kW (T2)	750 kW (T3)	1150 kW
Max. Üretim Debisi %100 ($Q, \text{m}^3/\text{s}$)	$2 \text{ m}^3/\text{s}$	$2,7 \text{ m}^3/\text{s}$	$4,5 \text{ m}^3/\text{s}$	$7,1 \text{ m}^3/\text{s}$

1150 kW'lık bir adet türbin kullanıldığında üretililecek elektrik enerjisi miktarı Çizelge 6.2.'de hesaplanmıştır. Türbinin verimi de hesaba katılarak yapılan hesaplama sonucunda yaklaşık olarak yıllık 4,45 GWh'lık bir üretimin gerçekleştirilebileceği hesaplanmıştır. Şubat ve Mart aylarında hidro sistem çıkış gücüne yakın değerler elde edilmiş, diğer aylarda hidro sistem çıkış gücünün oldukça altında üretim gerçekleştirilmiştir. Türbin verimi %57'ye kadar düşmüş, en yüksek Şubat ayında %87 verimle üretim gerçekleştirilmiştir. Yıllık ortalama üretim verimi %68 olarak bulunur.

Çizelge 6.2. 1150 kW'lık bir adet Francis türbin için üretililecek elektrik enerjisi.

Aylar	Aylık Ort. Debi ($Q, \text{m}^3/\text{s}$)	Hidro Sistem Çıkış Gücü (kW) ($\eta=0,90$)		Debi (Q) Yüzdesi (min Q %35)	1150 kW Francis Türbin Üretim Kapasitesi (%50-100) (min Q %35)		Aylık Toplam Üretim (...*720) (kWh)	Yıllık Toplam Üretim (kWh)
Ocak	3,96	642	713	%55	%70	500 kW	360000	4.448. 380
Şubat	6,07	984	1093	%85	%87	951 kW	684720	
Mart	7,11	1152	1280	%100	%85	1088 kW	783360	
Nisan	4,95	802	891	%69	%83	740 kW	532800	
Mayıs	4,20	680	755	%59	%77	582 kW	419040	
Haziran	3,47	562	624	%48	%65	406 kW	292320	

Temmuz	2,99	485	538	%42	%60	323 kW	232560
Ağustos	2,87	466	517	%40	%57	295 kW	212400
Eylül	2,96	479	532	%41	%57	303 kW	218160
Ekim	2,90	471	523	%40	%57	298 kW	214560
Kasım	2,86	463	514	%40	%57	293 kW	210960
Aralık	3,42	554	615	%48	%65	400 kW	288000

Çizelge 6.3. Beş üyelik kümeli BM algoritma denetimli T1, T2 ve T3 türbinleri için elde edilen debi yüzdeleri.

Aylar	Aylık Ort. Debi (Q, m ³ /s)	Hidro Sistem Çıkış Gücü (kW) (η=%90)		Çalışan Türbin(ler) (Beş üyelik kümeli BM algoritmalı)	Debi (Q) Yüzdesi (min Q %35)
Ocak	3,96	642	713	T1-T3	%61
Şubat	6,07	984	1093	T2-T3	%84
Mart	7,11	1152	1280	T1-T2-T3	%77
Nisan	4,95	802	891	T1-T3	%76
Mayıs	4,20	680	755	T1-T3	%65
Haziran	3,47	562	624	T1-T3	%53
Temmuz	2,99	485	538	T1-T2	%64
Ağustos	2,87	466	517	T1-T2	%64
Eylül	2,96	479	532	T1-T2	%66
Ekim	2,90	471	523	T1-T2	%64
Kasım	2,86	463	514	T1-T2	%64
Aralık	3,42	554	615	T1-T3	%53

250 kW, 400 kW ve 750 kW'lık üç adet türbin beş üyelik kümeli BM algoritma denetimli şekilde kontrol edildiğinde debi yüzde değerleri Çizelge 6.3.'de, üretilebilecek elektrik enerjisi miktarı da Çizelge 6.4.'de gösterilmiştir. Türbinin verimi de hesaba katılarak yapılan hesaplama sonucunda yaklaşık olarak yıllık 5 GWh'lık bir üretimin gerçekleştirilebileceği öngörülmüştür. Yıllık ortalama üretim verimi %80 olarak bulunmuştur.

Çizelge 6.4. Beş üyelik kümeli BM algoritma denetimli T1, T2 ve T3 türbinleri için üretilebilecek elektrik enerjisi.

Aylar	Aylık Ort. Debi (Q, m ³ /s)	Hidro Sistem Çıkış Gücü (kW) (η=%90)		Çalışan Türbin(ler) (Beş üyelik kümeli BM algoritmalı)	Francis Türbin(ler) Üretim kapasitesi (%50-100) (min Q %35)		Aylık Toplam Üretim (...*720) (kWh)	Yıllık Toplam Üretim (kWh)
Ocak	3,96	642	713	T1-T3	%77	549 kW	395287	5.008.312
Şubat	6,07	984	1093	T2-T3	%85	929 kW	668916	
Mart	7,11	1152	1280	T1-T2-T3	%87	1114 kW	801792	
Nisan	4,95	802	891	T1-T3	%86	766 kW	551707	
Mayıs	4,20	680	755	T1-T3	%83	627 kW	451188	
Haziran	3,47	562	624	T1-T3	%70	437 kW	314496	
Temmuz	2,99	485	538	T1-T2	%80	430 kW	309600	
Ağustos	2,87	466	517	T1-T2	%80	414 kW	297792	
Eylül	2,96	479	532	T1-T2	%81	431 kW	310262	
Ekim	2,90	471	523	T1-T2	%80	418 kW	301248	
Kasım	2,86	463	514	T1-T2	%80	411 kW	296064	
Aralık	3,42	554	615	T1-T3	%70	431 kW	309960	

Çizelge 6.5. Yedi üyelik kümeli BM algoritma denetimli T1, T2 ve T3 türbinleri için elde edilen debi yüzdeleri.

Aylar	Aylık Ort. Debi (Q, m ³ /s)	Hidro Sistem Çıkış Gücü (kW) (η=%90)		Çalışan Türbin(ler) (Yedi üyelik kümeli BM algoritmalı)	Debi (Q) Yüzdesi (min Q %35)
Ocak	3,96	642	713	T3	%88
Şubat	6,07	984	1093	T2-T3	%84
Mart	7,11	1152	1280	T1-T2-T3	%77
Nisan	4,95	802	891	T1-T3	%76
Mayıs	4,20	680	755	T1-T3	%65
Haziran	3,47	562	624	T3	%77
Temmuz	2,99	485	538	T3	%66
Ağustos	2,87	466	517	T3	%64
Eylül	2,96	479	532	T3	%66
Ekim	2,90	471	523	T3	%64
Kasım	2,86	463	514	T3	%64
Aralık	3,42	554	615	T3	%76

250 kW, 400 kW ve 750 kW'lık üç adet türbin yedi üyelik kümeli BM algoritmalı denetimli şekilde kontrol edildiğinde debi yüzde değerleri Çizelge 6.5.'de, üretilebilecek elektrik enerjisi miktarı da hesaplanarak Çizelge 6.6.'da gösterilmiştir. Türbinlerin verimi de hesaba katılarak yapılan hesaplama sonucunda yaklaşık olarak yıllık 5,3 GWh'lık bir üretimin gerçekleştirilebileceği görülmüştür. Yıllık ortalama üretim verimi de %85 olarak bulunmuştur.

Çizelge 6.6. Yedi üyelik kümeli BM algoritma denetimli T1, T2 ve T3 türbinleri için üretilebilecek elektrik enerjisi.

Aylar	Aylık Ort. Debi (Q, m ³ /s)	Hidro Sistem Çıkış Gücü (kW) (η =%90)		Çalışan Türbin(ler) (Yedi üyelik kümeli BM algoritmalı)	Francis Türbin(ler) Üretim kapasitesi (%50-100) (min Q %35)		Aylık Toplam Üretim (...*720) (kWh)	Yıllık Toplam Üretim (kWh)
Ocak	3,96	642	713	T3	%88	627 kW	451757	5.277.680
Şubat	6,07	984	1093	T2-T3	%88	962 kW	692640	
Mart	7,11	1152	1280	T1-T2-T3	%87	1114 kW	801792	
Nisan	4,95	802	891	T1-T3	%86	766 kW	551707	
Mayıs	4,20	680	755	T1-T3	%83	627 kW	451188	
Haziran	3,47	562	624	T3	%87	543 kW	390874	
Temmuz	2,99	485	538	T3	%83	447 kW	321509	
Ağustos	2,87	466	517	T3	%82	424 kW	305236	
Eylül	2,96	479	532	T3	%83	442 kW	317923	
Ekim	2,90	471	523	T3	%82	429 kW	308780	
Kasım	2,86	463	514	T3	%82	421 kW	303466	
Aralık	3,42	554	615	T3	%86	529 kW	380808	

Bir adet türbin kullanıldığında (1150 kW) yıllık verim ortalaması %68, beş üyelik kümeli BM algoritmalı denetimli üç adet türbin kullanıldığında (250 kW, 400 kW ve 750 kW) yıllık verim ortalaması %80, yedi üyelik kümeli BM algoritmalı denetimli üç adet türbin kullanıldığında yıllık verim ortalaması %85 olarak gerçekleşmiştir. Bu durum üretimi de etkilemiş ve artırmıştır. Üretimler de yaklaşık olarak sırasıyla 1150 kW'lık bir adet türbin kullanıldığında 4,5 GWh, beş üyelik kümeli BM algoritmalı PLC kontrollü üç adet türbin

kullanıldığında 5 GWh ve yedi üyelik kümeli BM algoritmali PLC kontrollü üç adet türbin kullanıldığında 5,3 GWh olarak gerçekleşmiştir.

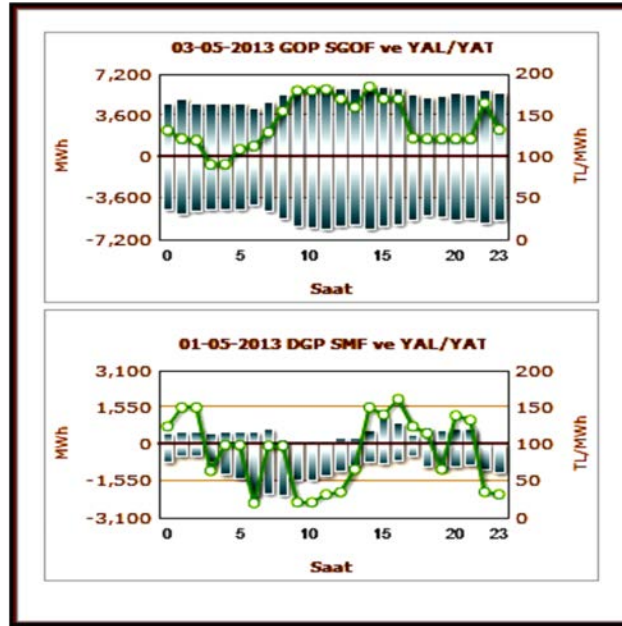
Çizelge 6.7. ve Çizelge 6.8.'e göre Kayaboğazı HES'de kurulması planlanan türbin sisteminde 1150 kW'lık bir adet türbinin maliyeti yaklaşık olarak 561.600 TL'dir. Üç adet türbinin (250 kW, 400 kW, 750 kW) fiyatı ise 1.190.800 TL'dir. Yedi üyelik kümeli BM algoritmali denetim sonucu üretilen elektrik enerjisi 5,3 GWh ve bir adet 1150 kW'lık türbin sonucu üretilen elektrik enerjisi ise 4,45 GWh'tir. İki üretim miktarı arasındaki farkın 850 MWh olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.7. HES kurulum maliyeti.

Türbin Gücü	150 kW	250 kW	400 kW	750 kW	1150 kW
Toplam Maliyeti (\$)	168.000	181.000	215.000	266.000	312.000
Toplam Maliyeti (TL=\$*1.80)	302.400	325.800	387.000	478.000	561.600

Çizelge 6.8. Benzetimleri yapılan sistemlerin maliyet karşılaştırması.

Kullanılan Türbin Sistemi	Kurulum Maliyeti (TL)	Yıllık Üretim Miktarı (GWh)	Yıllık Gelir (TL) (0,15*kWh)
1150 kW'lık bir adet türbin	561.600	4,5	675.000
BM denetimli üç adet türbin	1.190.600	5,3	795.000
Sistem Farkı	629.200	0,8	120.000



Şekil 6.1. <http://dgpys.teias.gov.tr/dgpys/> GOP SGOF değerleri.

Şekil 6.1.'de görüldüğü gibi <http://dgpys.teias.gov.tr/dgpys/> adresinden alınan gün öncesi piyasa (GOP) ve sistem gün öncesi fiyatı (SGOF) değerlerine göre elektrik enerjisinin MWh birim fiyatı yirmi dört saatlik ortalama değeri 140,36 TL'dir. 850 MWh'lık elektrik enerjisinin toplam fiyatı da 119.306 TL'dir. Bu değerlere göre 629.200 TL'lik türbin sistemi kurulum farkının ($629.200/119.306=5,27$ yıl) yaklaşık olarak 5-5,5 yılda karşılanacağı öngörülmektedir.

7. SONUÇ

Bu çalışmada Kayaboğazı Barajı'nın KÖHES'lere örnek olarak üretilebilir enerji potansiyeli değerlendirilmiş, maksimum enerji üretimi sağlanması için uygun kontrol ve otomasyon sistemi geliştirilmiştir.

Mevsimsel şartlara göre Kayaboğazı Barajı'nı besleyen Kocaçay Irmağı'nda su rejimi sürekli değişmektedir. Türbin verimlerinin düşük debilerde çok düşmesinden ve türbinin devre dışı kalmasından dolayı enerji üretimi gerçekleştirilememekte veya verimli bir üretim olmamaktadır.

Değişen su rejimlerinden dolayı bir tane türbinin verimli olmaması nedeniyle, bir adet büyük güçlü türbin yerine daha düşük güçlerde birden fazla türbinin kullanılması düşünülmüş ve bu mantığa uygun BM algoritmali bir kontrol sistemi geliştirilmiştir. BM algoritmali kontrol ve takip sistemi türbinlere su geçişini sağlayan motorlu vanalar tarafında yürütülerek türbinlerin devreye alınıp çıkarılmasında kullanılmıştır.

Türbin(ler)in kontrolünde, değişken giriş değerlerine göre en uygun çıkış değerini verebilen, insansız kontrolü sağlayabilen BM algoritmali PLC kullanılmıştır. Kayaboğazı barajındaki kontrol sisteminde, su debisi ve yük akımı iki giriş değişkeni, kontrolü sağlanacak türbin(ler) de çıkış olarak kullanılmış ve mevcut su potansiyelinden maksimum güç elde etmek için uygun bir BM algoritması oluşturulmuştur. Sistemin uzaktan takip edilip programa müdahale edilebildiği, çalışma verilerinin saklanabildiği SCADA uygulaması da yapılmıştır.

Kayaboğazı Barajı'nın mevcut su potansiyelinden maksimum güç elde etmek için beş ve yedi üyelik kümeli BM tabanlı kontrol algoritması geliştirilmiştir. Her iki algoritma da MATLAB-SIMULINK programında yazılıp değerlendirilmiştir. Sürekli olarak yük akımı miktarı ve su debisi değerlerinin alındığı kapalı bir döngü üzerindeki yedi üyelik kümeli BM algoritmanın PLC programı CoDeSys yazılım dilinde yazılmıştır. Böylece BM tabanlı kontrol algoritması ile Kayaboğazı Barajı'nda türbinlerin maksimum verimde kullanılmaları sağlanarak maksimum çıkış gücü elde edilmiştir. Özellikle yedi üyelik kümeli BM algoritmali kontrolün oldukça verimli olduğu görülmüştür.

Yapılan çalışmada bir tane 1150 kW'lık türbin kullanılmasının yerine BM algoritmali PLC ile kontrol edilen 250 kW, 400 kW ve 750 kW'lık üç adet türbin kullanılmıştır. Bir adet türbin kullanarak üretilebilecek enerji ile üç adet türbin kullanarak üretilebilecek enerji miktarları karşılaştırılmış ve BM algoritmali sistem ile kontrol edilen üç adet türbin ile yaklaşık

800 MWh daha fazla enerji üretilebildiği görülmüştür. Bu da toplam potansiyel enerjinin $(800/5500 = 0,145)$ %14,5'i olup bir adet türbin kullanmakla üretilebilecek enerjinin yaklaşık $(800/4400 = 0,18)$ %18 fazlasını üretme imkânı sağlamıştır.

Bir adet türbin ile üç adet türbin kullanılmasının yatırım maliyetleri karşılaştırılmıştır. Sistemlerin ekonomik analizleri türbinlerin ve alternatörlerin eş yaşlandırmaları, devreye girme ve çıkma maliyetleri hesaba katılmadan yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda yapılacak fazladan yatırımın kendisini $(629.200 / 119.306 = 5,27 \text{ yıl})$ 5-5,5 yılda karşılayacağı öngörülmüştür.

Kayaboğazı barajının BM temelli olarak en verimli bir şekilde işletilmesi Türkiye ekonomisine ve enerji pazarına katkıda bulunacağı gibi, Kütahya ilinde yeni enerji imkânları da meydana getirecek, bunun yanı sıra Türkiye'nin ürettiği “yeşil enerji” miktarına da katkıda bulunacaktır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Acıelma, F., “Programlanabilir Lojik Kontrol (PLC) Laboratuvarı”, Milli Eğitim Basımevi İstanbul, 385 s, 2005.

Ada, N., Aslan, Y., Tunaboylu, S., “Orta Ölçekli Bir Üretim Sürecinin DKS’ den PLC SCADA Sistemine Dönüştürülmesi Uygulaması”, DPÜ FBE Dergisi, Sayı 5, 135-145 s, 2003.

Adzic E., Ivanovic Z., Adzic M., Katic V. “Maximum Power Search in Wind Turbine Based on BM Logic Control” Acta Polytechnica Hungarica Vol. 6, No. 1, 2009.

ALTAŞ, İ.H., “Bulanık Mantık: Bulanıklılık Kavramı”, Enerji Elektrik Elektromekanik-3e, Temmuz 1999, Sayı 62, 80-85 s, Bilesim Yayıncılık A. Ş., 1999.

Aslan, Y. ve Türe, Ş. “Location Of Faults İn Power Distribution Laterals Using Superimposed Components And Programmable Logic Controllers”, International Journal of Electrical Power and Energy Systems, Vol.33(4),pp.1003-1011, May 2011.

Aslan, Y., Arslan, O., Yasar, C. “A Sensitivity Analysis For The Design Of Small-Scale Hydropower Plant: Kayabogazi Case Study, Renewable Energy”, Vol.33(4), pp.791-801, April 2008.

Aslan, Y., Yasar, C., Karabörk, M.Ç., “Bir Mikro-Hidro Örneği: Kayaboğazı Barajı”, Bursa, Eleco 2004.

Aydogmus, Z., “Implementation Of A BM-Based Level Control Using SCADA”, Expert Systems With Applications 36 pp. 6593–6597, 2009.

Bayındır, R. ve Çetinceviz, Y., “A Water Pumping Control System With A Programmable Logic Controller (PLC) And Industrial Wireless Modules For Industrial Plants An Experimental Setup”, ISA Transactions 50 pp. 321–328, 2011.

Bayındır, R., Kaplan, O., Bayyigit, C., Sarıkaya, Y., Hallaçhoğlu, M., “PLC ve SCADA kullanılarak bir endüstriyel sistemin otomasyonu” Erciyes Üniversitesi FBE Dergisi Sayı 27, 107-115 s, 2011.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Da Ruan and van der Wal, A., “Controlling The Power Output Of A Nuclear Reactor with Fuzzy Logic”, Information Sciences 110, pp.151-177, 1998.

El-Hawary, M.E. (Ed.), “ Electric Power Applications of Fuzzy Logic Systems”, IEEE Press, 343 sayfa, 15 Haz 1998.

Elmas, Ç., “Yapay Zeka Uygulamaları”, Seçkin Yayıncılık, 230-257 s, 2007.

Franco I.C., Dall’Agnol, M., Costa, T.V., Fileti, A.M .F., Silva, F.V., “A Neuro-Fuzzy Identification Of Non-Linear Transient Systems: Application To A Pilot Refrigeration Plant”, International Journal Of Refrigeration 34, pp. 2063-2075, 2011.

Guler I., Tunca, A. ve Gulbandilar E. “Detection Of Traumatic Brain Injuries Using Fuzzy Logic algorithm”, Expert Systems with Applications, Vol.34, pp. 1312-1317, 2008.

Gupta and Sinha (Ed.), “Intelligent Control Systems”, IEEE Press, 1996.

http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/

<http://www.aptronix.com/fuzzynet>

<http://www.cs.berkeley.edu/~zadeh>

http://www.parkermotion.com/manuals/Hauser/Compax3/CoDeSys_Manual_V2p3.pdf

http://www.yildiz.edu.tr/~inan/Scada_Nedir.htm

Ichtev, A. and Puleva, T., “Multiple-Model Adaptive Control of Hydro Turbine Generator With Fuzzy TS Models”, 9th WSEAS International Conference on FUZZY SYSTEMS (FS’08), Sofia, Bulgaria, 2008.

Işıklı, Ş., “BM Ve Bulanık Teoriler”, [dergiler.ankara.edu.tr/dergiler/ 34/923/11510.pdf](http://dergiler.ankara.edu.tr/dergiler/34/923/11510.pdf), 2013.

Jang, J.S.R., Sun, C.T., and Mizutani, E., “Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Itelligence ", Prentice Hall, 1996.

Karakuzu, C. ve Öztürk, S., “PLC İle BM Tabanlı Hata Düzeltmeli Üç Fazlı Motor Hız Kontrolü” emo.org.tr/ekler/f0442558302a6ed_ek.pdf, 2013.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Kazu, İ. Y. ve Özdemir, O., “Öğrencilerin Bireysel Özelliklerinin Yapay Zekâ ile belirlenmesi (BM Örneği) ”, Akademik Bilişim’09 - XI. Akademik Bilişim Konferansı bildirileri, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, 11-13 Şubat 2009.

Kurt, H. ve Aslan, Y., 2012, “BM ve PLC ile Kayaboğazı Barajı Türbin Modellemesi”, Eleco 2012, Bursa, Kasım 2012.

Lah, M. T., Zupancic, B., Peternej, J., Krainer, A., 2005, “Daylight Illuminance Control With Fuzzy Logic”, Solar Energy 80, pp. 307–321, 2006.

Li, K.K., Lai, L.L., and David, A.K., “Stand-Alone Intelligent Digital Distance Relay”, A paper opened for discussion by IEEE Power Engineering Society, Abstract printed on power engineering review, Vol. 19, No. 2, p. 46, February 1999.

Lin, C.T. and Lee, C.S.G., “ Neural Fuzzy Systems: A Neuro-Fuzzy Synergism to Intelligent Systems”, Prentice Hall, 1996.

Liu, C. “Intelligent System Applications To Power Systems”, IEEE Computer Applications in Power, Vol.10, No.4, pp. 21-24, October 1997.

Mamdani, E.H. and Assilian S., "An Experiment In Linguistic Synthesis With A Fuzzy Logic Controller", Int. J. Man-Machine Studies 7, pp. 1-13, 1975.

Mamdani, E.H., "Advances In The Linguistic Synthesis Of Fuzzy Controllers", Int. J. Man-Machine Studies, 8, pp. 669-678, 1976.

Mamdani, E.H., "Application Of Fuzzy Algorithms For Control Of Simple Dynamic Plant", Proc. Iee , vol. 121, No.12, pp. 1585-1588, December 1974.

Mirzaoglu, İ. ve Sarıtaş, M., “PLC VE SCADA Kullanarak Bir İrmik Üretim Sisteminin Otomasyonu”, emo.org.tr/ekler/d4b8883d31ef088_ek.pdf, 2013.

Murat, Y. Ş. ve Uludağ, N., “BM Ve Lojistik Regresyon Yöntemleri İle Ulaşım Ağlarında Geçki Seçim Davranışının Modellenmesi”, İMO Teknik Dergi, 4363 -4379 s., 2008.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Omid, M., Lashgari, M., Mobli, H., Alimardani, R., Mohtasebi, S., Hesamifard, R., 2010, “Design Of Fuzzy Logic Control System Incorporating Human Expert Knowledge For Combine Harvester”, *Expert Systems With Applications* 37, pp. 7080–7085, 2010.
- Öcalan, G., “Koruma Rölesi Fonksiyonlarının PLC ve SCADA kullanılarak gerçekleştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 148 s, 2005.
- Özçalık, H. R., Türk, A., Yıldız, C., Koca, Z., “Katı Yakıtlı Buhar Kazanında Yakma Fanının BM Denetleyici İle Kontrolü”, *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 11(1), 2008.
- Özdamar, C., “Programlanabilir Lojik Kontrolörler PLC Teori ve Uygulama”, Birsen Yayınevi, Cağaloğlu-İstanbul, 172 s.
- Özdemir, M. T. ve Orhan, A., “An Experimental System For Electrical And Mechanical Education: Micro Hydro Power Plant Prototype”, *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 47, pp. 2114 – 2119, 2012.
- Paish, O., ‘Small Hydro Power Technology and Cuurent Status’, ‘Renewable & Sustainable Energy Rewievs’ Vol.6, pp 537-556, 2002.
- Peri, V. M. and Simon, D., “Fuzzy Logic Control For An Autonomous Robot”, academic.csuohio.edu/simond/pubs/Vamsi.pdf, 2013.
- Saad, N. and Arrofiq, M., 2011, “A PLC-Based Modified-Fuzzy Controller For PWM Driven induction Motor Drive With Constant V/Hz Ratio Control”, *Robotics and Computer-Integrated manufacturing* 28, pp. 95–112, 2012.
- Som, A., “Uzun Dönem Yük Tahmini: Manisa Örneği”, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 93 s, 2010.
- Yalçın, N. “Bulanık Sunum”, bm.bilecik.edu.tr/Dosya/Arsiv/odevnot/bulanik_mantik.pdf Bilecik Üniversitesi, Araştırma Görevlisi, 2013
- Yen, et al, “Fuzzy Logic: Intelligence, Control, and Infor.”, Prentice Hall., 1999.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Yen, Langari, and Zadeh (Ed.), “Industrial Applications of Fuzzy Logic and Intelligent Systems”, IEEE, 1995.

Yılmaz, H. ve Sarıtaş, M., “Ekmek Üretim Hattında PLC Cihazının Kullanılması”, emo.org.tr/ekler/f6242793017047d_ek.pdf, 2013.

Yılmaz, S., Cakir B., Gedik, A., Dincer, H., “Speed Control Of A Conveyor System By Means Of Fuzzy Control Aided PLC”, IEEE, ISIE'99 ~ Bled, Slovenia, pp. 1328-1332, 1999.

Zadeh, L.A., "Fuzzy sets", Information and Control 8, pp. 338-353, 1965.

Zadeh, L.A., "Outline Of A New Approach To The Analysis Of Complex Systems And Decision Processes", IEEE Transactions on Systems, man, and Cybernetics , Vol. SMC-3, No. 1,,pp. 28-44, January 1973.

Zadeh, L.A., “The Concept Of Linguistic Variable And Its Application To Approximate Reasoning”, Part 1, 2, and 3. Information Sciences , 8: pp. 199-249, 8: pp. 301-357-, 9: pp. 43-80, 1975.

Zhang, H., Davigny, A., Colas, F., Poste, Y., Robyns, B., 2012, “Fuzzy Logic Based Energy management Strategy For Commercial Buildings Integrating Photovoltaic And Storage systems”, Energy and Buildings 54, pp. 196–206, 2012.

Zidani, Z. and Said,R. N., “Direct Torque Control Of Induction Motor With Fuzzy Minimization Torque Ripple”, Journal of Electrical Engineering, VOL. 56, NO. 7-8, pp. 183-188, 2005.

Zurada, Marks, and Robinson (Ed.), “Computational Intelligence”, IEEE, 1994.

EKLER

1. Met Enerji AŞ (MET GRUP) fiyat listesi

TÜRBİN GÜÇLERİ	150 kW	250 kW	400 kW	750 kW	1150 kW	1400 kW
TOPLAM MALİYETİ	168000\$	181000\$	215000\$	266000\$	312000\$	360000\$

2. Lindo lineer hesaplama programı örneği

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Birim Zamanındaki Potansiyel Elektriksel Güç (kw)	360,924	485,730	586,975	698,247	437,916	312,526	305,981	316,955	279,924	237,679	216,630	332,507

Kullanılması varsayılan türbin güçleri: 150, 200, 250, 300 kw

Formülizasyon: X_{ij} ; i'ninci ayda j'ninci türbin

max

$$150x_{11}+200x_{12}+250x_{13}+300x_{14}+150x_{21}+200x_{22}+250x_{23}+300x_{24}+150x_{31}+200x_{32}+250x_{33}+300x_{34}+150x_{41}+200x_{42}+250x_{43}+300x_{44}+150x_{51}+200x_{52}+250x_{53}+300x_{54}+150x_{61}+200x_{62}+250x_{63}+300x_{64}+150x_{71}+200x_{72}+250x_{73}+300x_{74}+150x_{81}+200x_{82}+250x_{83}+300x_{84}+150x_{91}+200x_{92}+250x_{93}+300x_{94}+150x_{101}+200x_{102}+250x_{103}+300x_{104}+150x_{111}+200x_{112}+250x_{113}+300x_{114}+150x_{121}+200x_{122}+250x_{123}+300x_{124}$$

subject to

$$150x_{11}+200x_{12}+250x_{13}+300x_{14} \leq 360$$

$$150x_{21}+200x_{22}+250x_{23}+300x_{24} \leq 485$$

$$150x_{31}+200x_{32}+250x_{33}+300x_{34} \leq 586$$

$$150x_{41}+200x_{42}+250x_{43}+300x_{44} \leq 698$$

$$150x_{51}+200x_{52}+250x_{53}+300x_{54} \leq 437$$

$$150x_{61}+200x_{62}+250x_{63}+300x_{64} \leq 312$$

$$150x_{71}+200x_{72}+250x_{73}+300x_{74} \leq 305$$

$$150x_{81}+200x_{82}+250x_{83}+300x_{84} \leq 316$$

$$150x_{91}+200x_{92}+250x_{93}+300x_{94} \leq 279$$

$$150x_{101}+200x_{102}+250x_{103}+300x_{104} \leq 237$$

150x111+200x112+250x113+300x114<=216

150x121+200x122+250x123+300x124<=332

end

(gin x11 komutu ile sonucun tam sayı çıkması sağlanır ve her değişken için ayrı ayrı yazılır.)

Program sonucu:

RE-INSTALLING BEST SOLUTION...

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 4250.000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X11	1.000000	-150.000000
X12	1.000000	-200.000000
X13	0.000000	-250.000000
X14	0.000000	-300.000000
X21	3.000000	-150.000000
X22	0.000000	-200.000000
X23	0.000000	-250.000000
X24	0.000000	-300.000000
X31	0.000000	-150.000000
X32	0.000000	-200.000000
X33	1.000000	-250.000000
X34	1.000000	-300.000000
X41	3.000000	-150.000000
X42	1.000000	-200.000000
X43	0.000000	-250.000000
X44	0.000000	-300.000000
X51	1.000000	-150.000000
X52	0.000000	-200.000000
X53	1.000000	-250.000000
X54	0.000000	-300.000000
X61	2.000000	-150.000000
X62	0.000000	-200.000000
X63	0.000000	-250.000000
X64	0.000000	-300.000000

X71	0.000000	-150.000000
X72	0.000000	-200.000000
X73	0.000000	-250.000000
X74	1.000000	-300.000000
X81	0.000000	-150.000000
X82	0.000000	-200.000000
X83	0.000000	-250.000000
X84	1.000000	-300.000000
X91	0.000000	-150.000000
X92	0.000000	-200.000000
X93	1.000000	-250.000000
X94	0.000000	-300.000000
X101	0.000000	-150.000000
X102	1.000000	-200.000000
X103	0.000000	-250.000000
X104	0.000000	-300.000000
X111	0.000000	-150.000000
X112	1.000000	-200.000000
X113	0.000000	-250.000000
X114	0.000000	-300.000000
X121	0.000000	-150.000000
X122	0.000000	-200.000000
X123	0.000000	-250.000000
X124	1.000000	-300.000000

ROW SLACK OR SURPLUS DUAL PRICES

2)	10.000000	0.000000
3)	35.000000	0.000000
4)	36.000000	0.000000
5)	48.000000	0.000000
6)	37.000000	0.000000
7)	12.000000	0.000000
8)	5.000000	0.000000
9)	16.000000	0.000000

- 10) 29.000000 0.000000
 11) 37.000000 0.000000
 12) 16.000000 0.000000
 13) 32.000000 0.000000

NO. ITERATIONS= 123

BRANCHES= 2 DETERM.= 1.000E 0

Aşağıdaki çizelgede görüldüğü gibi normalde program sonucuna göre 6 adet türbin kullanılması gerekmektedir. Ancak Şubat ve Haziran aylarında farklı türbinlerle elektrik enerjisi elde edilebilmesine rağmen sadece 1. Türbin devrede gözükmekte ve adet olarak 1'den fazla ihtiyaç olmaktadır. Bu durum maddi olarak verimli değil ve pahalıya mal olmaktadır.

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
150 kw'lık 1. Türbin (Adet)	1	3	0	3	1	2	0	0	0	0	0	0
200 kw'lık 2. Türbin (Adet)	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0
250 kw'lık 3. Türbin (Adet)	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0
300 kw'lık 4. Türbin (Adet)	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1
Üretilen Elk.Enerjisi	350/360	450/485	550/586	650/698	400/437	300/312	300/305	300/316	250/279	200/237	200/216	300/332

1.Türbini kullanmadan diğer türbinleri kullanarak türbinlerin %65-70 gibi potansiyellerle çalışabildiğini göz önünde tutarak aşağıda gibi bir sonuç elde edebiliriz;

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
150 kw'lık 1. Türbin (Adet)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200 kw'lık 2. Türbin (Adet)	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0
250 kw'lık 3. Türbin (Adet)	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0
300 kw'lık 4. Türbin (Adet)	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1
Üretilen Elk.Enerjisi	300/360	450/485	550/586	750/698	450/437	300/312	300/305	300/316	250/279	250/237	200/216	300/332

Sonuç: Ocak ayında 4 no.lu türbin, Şubat ayında 2 ve 3 no.lu türbin, Mart ayında 3 ve 4 no.lu türbin, Nisan ayında 2,3 ve 4 no.lu türbin, Mayıs ayında 2 ve 3 no.lu türbin, Haziran, Temmuz ve Ağustos ayında 4 no.lu türbin, Eylül ve Ekim ayında 3 no.lu türbin, Kasım ayında 2 no.lu türbin ve son olarak Aralık ayında 4 no.lu türbin kullanılarak toplamda 3 adet türbin ve Nisan, Mayıs, Ekim aylarında ortalama %95 kapasiteyle, diğer aylarda ise %100 kapasiteyle HES türbinleri çalıştırılabilir.

3. MATLAB yazılım örneği

```

if 200<x&& x<=300
    PCCA=(300-x)/(300-200);
    PCA=(x-200)/(300-200);
end
.....
if 250<y&& y<=350
    TCCA=(350-y)/(350-250);
    TCA=(y-250)/(350-250);
end
.....
if PCCA>0&& TCCA>0
    G11=[PCCA TCCA];
    G11=min(G11);
end
.....
if PCCF>0&& TCCA>0
    G113=[PCCF TCCA];
    G113=min(G113);
end
.....
G1=[G11 G12 G13 G14 G15 G16 G17 G18 G19 G110 G111 G112 G113];
G1=max(G1);
.....
z=((15*G1+38*G2+55*G3+74*G4+86*G5+94*G6+98.5*G7)/(G1+G2+G3+G4+G5+G6+G7));
clc
disp(z)
if z>=0&& z<=27
    fprintf('G1(T1 Devrede)')
end

```