

Bulanık Mantık ve PLC ile Kayaboğazı Barajı Türbin Modellemesi

Halil Kurt¹, Yılmaz Aslan²

^{1,2}Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fak., Elektrik Elektronik Müh. Bölümü, 4300, Kütahya
mutefli@gmail.com, yaslan@dpu.edu.tr

Özet

Bu çalışmada Kütahya İli Tavşanlı İlçesinde bulunan ve genellikle sulama amaçlı kullanılan Kayaboğazı barajından elektrik enerjisi üretimi araştırılmıştır. Bu amaçla kurulması düşünülen küçük ölçekli hidroelektrik santral (KÖHES) türbinlerinin işletilmesi bulanık mantık (BM) ve programlanabilir mantık denetleyici (PLC) kullanılarak yapılacaktır. Bu amaçla Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından elde edilen geçmiş yıllara ait su verileri dikkate alınarak, su rejiminin mevsimsel olarak farklılık göstermesinden dolayı, farklı güçlerde üç adet Francis türbininin kurulması planlanmıştır. Sistemde türbinlere verilecek olan su miktarı ve türbinlerin kontrolü ise PLC ile yapılacaktır. Bu uygulama ile Kayaboğazı barajının insansız ve uzaktan uygun bir şekilde işletilmesi ile tarımsal sulamanın yanı sıra güvenilir bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak ülke ekonomisine de katkısı sağlanacaktır.

Abstract

In this study electric power generation from the Kayaboğazı dam which is located in the town of Tavşanlı, Kütahya and mainly used for irrigation and flood control purposes is investigated. For this purpose the control and operation of the projected small-scale hydro-electric power station will be achieved by using fuzzy logic (FL) control and programmable logic controller (PLC). Hence by evaluating the water flow data recorded by the Turkish Water Works (DSI), and considering the seasonal variations in water flow to the dam, installment of three Francis turbines with different power outputs has been planned. The amount of water flow to the turbines and their operation will be controlled by the PLCs. With this implementation, apart from irrigating the agricultural fields of the local area; the Kayaboğazı Dam will serve as a reliable and renewable source and contribute to the economy of the country as a whole.

1. Giriş

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. Bunlar, rüzgâr santralleri, güneş panelleri, jeotermal kaynaklar, hidroelektrik santraller (HES) olarak sıralanabilir. HES'ler dünyadaki

elektrik ihtiyacının yaklaşık olarak %19'unu karşılamaktadır. HES'ler içinde KÖHES'ler önemli bir yere sahiptir ve uluslararası kesin bir tanımlama olmamakla beraber genellikle 2,5 MW ile 25 MW arasında değişmektedir. Kabul edilen üst sınır ise 10 MW'tır. 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 sınıflandırılmaktadır [1].

Bu çalışmada, Kayaboğazı barajının enerji potansiyeli değerlendirilmiş ve türbinlerin optimizasyonu BM algoritmali PLC ile sağlanmıştır. Bu amaçla barajdaki mevcut su potansiyelinden maksimum güç elde etmek için uygun bir algoritma oluşturulmuştur. BM algoritması ile türbinlere verilen su miktarı kontrol edilerek türbin hız kontrolü sağlanmakta, ayrıca devrede kalacak türbin sayısına ve gücüne karar verilmektedir. BM denetleyicisi kullanmanın avantajı mevsimsel şartlara göre su ve şebeke yük miktarının sık değiştiği durumlarda daha fazla dikkat çekmektedir. Modellemede farklı güçlerdeki türbinlerin farklı kombinasyonlarda kullanımları ile arz ve talep dengesine göre optimum enerji üretimi sağlanmıştır [4-6]. Kayaboğazı barajının optimum bir şekilde işletilmesi Türkiye ekonomisine ve enerji pazarına katkıda bulunacağı gibi, Kütahya ilinde yeni enerji imkânları meydana getirecek, bunun yanı sıra Türkiye'nin yenilenebilir enerji kapasitesine de katkıda bulunacaktır.

2. Kayaboğazı Barajı

Kayaboğazı barajı 1988 yılında işletmeye açılmış olup halen işletilmektedir. Barajdan tarımsal sulama ve içme suyu amaçlı yararlanılmakta, ayrıca Seyitömer Termik Santralının soğutma suyu ihtiyacı da karşılanmaktadır. Kayaboğazı barajı yapılan planlama çalışmaları neticesinde 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 minimum su seviyesi 908.4 m, normal su seviyesi 917.8 m, maksimum su seviyesi ise 922.9 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 barajına 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. Kayaboğazı barajı, 886.75 m talveg kotunda inşa edilmiş olup drenaj alanı 1024 km²'dir [1,2].

Çizelge 1'de Kayaboğazı barajına 2007-2011 yılları arası gelen su miktarı, ortalama debi değerleri ile bu değerlere göre sistemin çıkış gücü ve elde edilecek toplam elektrik enerjisi verilmektedir.

Çizelge 1: Kayaboğazı barajı debi ve enerji üretim değerleri.

Aylar	Ortalama Gelen Su Miktarı (m ³)	Ortalama Debi (m ³ /s)	Hidro Sistem Çıkış Gücü (kW)	Aylık Toplam Potansiyel Elektrik Enerjisi (kWh)	Yıllık Toplam Potansiyel Elektrik Enerjisi (kWh)
Ocak	10274020	3,96	642	462331	5524736
Şubat	14690988	6,07	984	661094	
Mart	18435600	7,11	1152	829602	
Nisan	12825680	4,95	802	577156	
Mayıs	10874720	4,20	680	489362	
Haziran	8988420	3,47	562	404479	
Temmuz	7759840	2,99	485	349193	
Ağustos	7449520	2,87	466	335228	
Eylül	7667640	2,96	479	345044	
Ekim	7529520	2,90	471	338828	
Kasım	7412500	2,86	463	333563	
Aralık	8863460	3,42	554	398856	

3. Türbin Seçimi ve Modellemesi

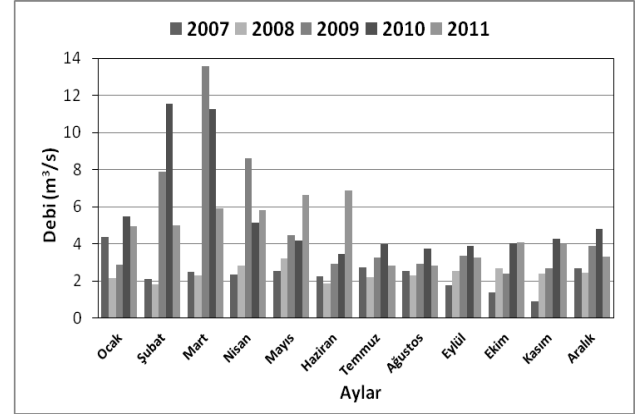
Hidro-elektrik türbinlerde elde edilen güç net hidrolik düşü ile türbinden akan suyun çarpımıyla doğru orantılıdır. Herhangi bir hidro sistemin çıkış gücünün genel formülü denklem (1)'de verilmiştir.

$$P = \eta \rho g Q H \quad (1)$$

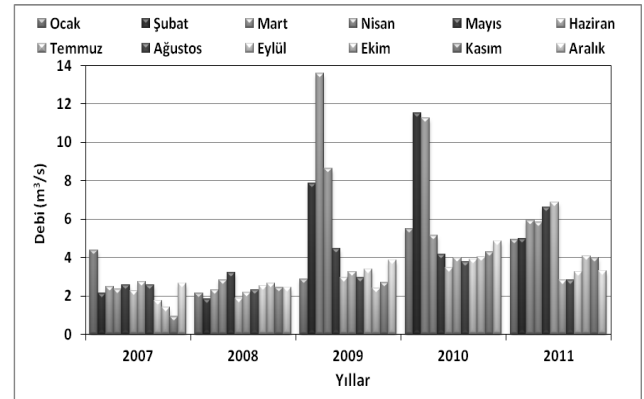
Denklemde; P türbinden elde edilen mekanik gücü (W), η türbinin hidrolik verimini, ρ suyun özgül ağırlığını (kg/m^3), g yerçekimi ivmesini (m/s^2), Q suyun debisini (m^3/s) ve H etkin düşü yüksekliğini (m) göstermektedir. Türbin verimi, etkin düşü yüksekliği ile suyun debisine bağlı olup iyi türbinlerde %80 ile %90 arasında değişmektedir [1-3]. Kayaboğazı barajındaki etkin düşü yüksekliği 18 metredir. Bu değere göre seçilmesi gereken türbin ya da türbinlerin tipleri Francis (salyangozlu) türbin ya da Crossflow türbindir. Etkin düşü yüksekliğine göre uygun tepki türbini çeşidi sadece Francis (salyangozlu) türbindir [1-3]. Şekil 1 ve Şekil 2'de sırasıyla Kayaboğazı barajını besleyen Kocaçay ırmağına ait aylık ve yıllık bazda su debileri verilmiştir. Şekillerden su debilerinin düzenli olmadığı, aylık ve yıllık bazda oldukça fazla değiştiği görülmektedir.

Çizelge 1'de verilen aylık ortalama su debi değerleri, 2.86 m³/s ile 7.11 m³/s arasında değişmektedir. Bu durumda Kayaboğazı barajında bir adet büyük güçlü Francis türbin seçildiğinde düşük su debilerinde de türbinin veriminin çok

fazla düşmesinden dolayı elektrik enerjisi üretilmeyecektir. Bu durumda bir adet 1150 kW gücünde türbin kullanmak yerine 250 kW (T_1), 400 kW (T_2) ve 750 kW (T_3) güçlerinde üç adet türbin seçilmiştir. Böylece barajdaki su potansiyeline göre uygun sayıda ve güçte türbin devreye alınacak ve türbinlerin her koşulda yüksek verimle çalışması sağlanacaktır [1,2]. BM hesaplamalarında sistemin girdileri olan potansiyel ve talep güçleri, hidro-sistem çıkış güçlerine göre değerlendirilmiştir. Sistemin çıktıları olan berraklaştırma kısmındaki kural tabanı oluşturulurken bu durum dikkate alınmıştır.



Şekil 1: Aylık bazda debi (m³/s)



Şekil 2: Yıllık bazda debi (m³/s)

4. Bulanıklaştırma

Uygulanan BM denetleyicinin temel amacı, türbinleri sürekli olarak hidrolik verimliliklerini su debisine ve talep gücüne göre uygun değerde tutacak şekilde çeşitli kombinasyonlarda çalıştırmaktır. BM denetleyici kullanmanın avantajları; genel kontrol algoritması kullanılabilmesi, hızlı tepki vermesi olarak sıralanabilir [4]. Kayaboğazı barajında kullanılması düşünülen türbinlerin devreye alınması ve devreden çıkarılması için BM yöntemiyle yapılan hesaplamalarda sistemin girdileri olarak suyun potansiyel gücü (PG) ve talep edilen güç (TG) alınmıştır. Sistemin çıktısı olarak da, bu değerlerine göre sistemden elde edilecek uygun çıkış gücüdür (G). Potansiyel güç ve talep edilen güç değerleri için kullanılacak bulanık algoritma fonksiyonlarındaki üyelik fonksiyonları üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları şeklinde olup aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır [5].

Yamuk üyelik fonksiyonu ;

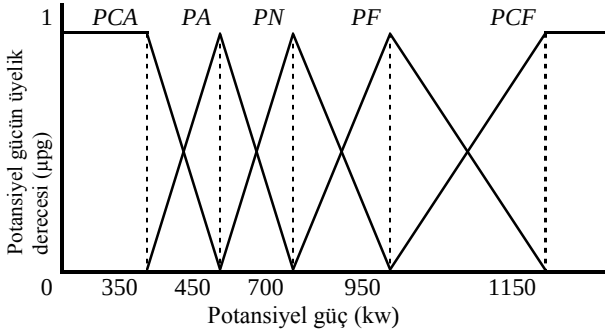
$$Yamuk(X;a,b,c,d) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{d-x}{d-c}\right)\right) \quad (2)$$

Üçgen üyelik fonksiyonu;

$$Üçgen(X;a,b,c) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b}\right)\right) \quad (3)$$

4.1. Suyun Potansiyel Gücü

Şekil 3'te barajın potansiyel gücünün üyelik kümeleri PCA, PA, PN, PF ve PCF görülmektedir. Burada üç adet üçgen ve iki adet yamuk şekil fonksiyonundan olmak üzere toplam beş üyelik kümesinden oluşan şekiller kullanılmıştır. Potansiyel güç Çizelge 1'deki verilerden anlaşılacağı üzere 0 ile 1150 kW arasında değişmektedir. Üyelik fonksiyonlarının karşılıkları da potansiyel çok az (PCA), potansiyel az (PA), potansiyel normal (PN), potansiyel fazla (PF) ve potansiyel çok fazla (PCF) şeklinde sınıflandırılmıştır. Üyelik fonksiyonlarının hesaplanması ve değer aralıkları Çizelge 2'de gösterilmiştir.



Şekil 3: Potansiyel güç üyelik derecesi

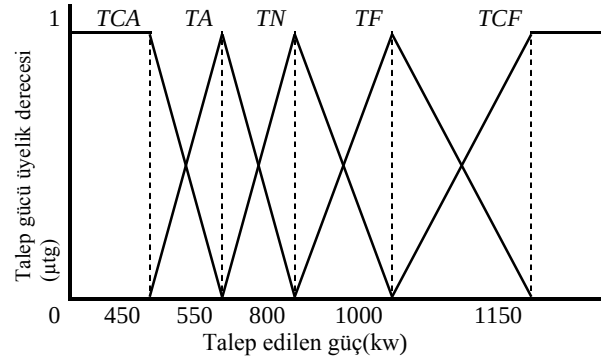
Çizelge 2: Potansiyel güç üyelik kümeleri

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

4.2. Talep Edilen Güç

Barajdan talep edilen gücün üyelik kümeleri TCA, TA, TN, TF ve TCF Şekil 4'te gösterilmektedir. Burada da üç adet üçgen ve iki adet yamuk şekil fonksiyonundan olmak üzere toplam beş üyelik kümesinden oluşan şekiller kullanılmıştır. Talep edilen güç ile potansiyel güç arasında paralellik olması için talep edilen güç 0 ile 1150 kW arasında alınmıştır. Üyelik fonksiyonlarının karşılıkları da potansiyel güçte olduğu gibi talep çok az (TCA), talep az (TA), talep normal (TN), talep fazla (TF) ve talep çok fazla (TCF) şeklinde sınıflandırılmıştır. Fonksiyonlar için kabul edilen değer aralıkları Çizelge 3'te

gösterilmiştir. Örneğin; TA üyelik derecesi 0.69 ve TN üyelik derecesi 0.30 ise talep edilen güç yaklaşık 640 kW olmaktadır.



Şekil 4: Talep edilen güç üyelik derecesi

Çizelge 3: Talep edilen güç üyelik kümeleri

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

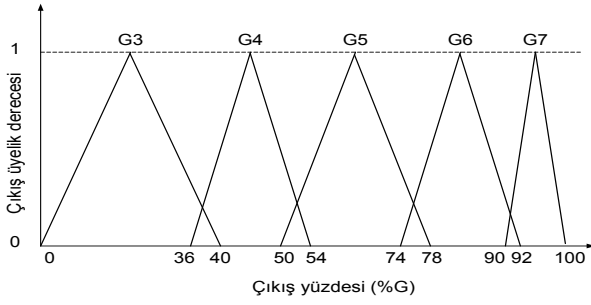
4.3. Kural Tabanı (Berraklaştırma)

BM denetleyici kural tabanı Çizelge 4'te verilmiştir. BM, PG ve TG girişlerine karşılık gelecek bulanık çıkış sonuçlarından oluşan kurallar dizisidir. Kural tabanındaki iki giriş bilgisine karşılık gelen çıkış üyelik kümeleri 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 (COG) uygulanmıştır[5].

$$COG = \frac{\sum_{x=a}^b \mu_A(x) \cdot x}{\sum_{x=a}^b \mu_A(x)} \quad (4)$$

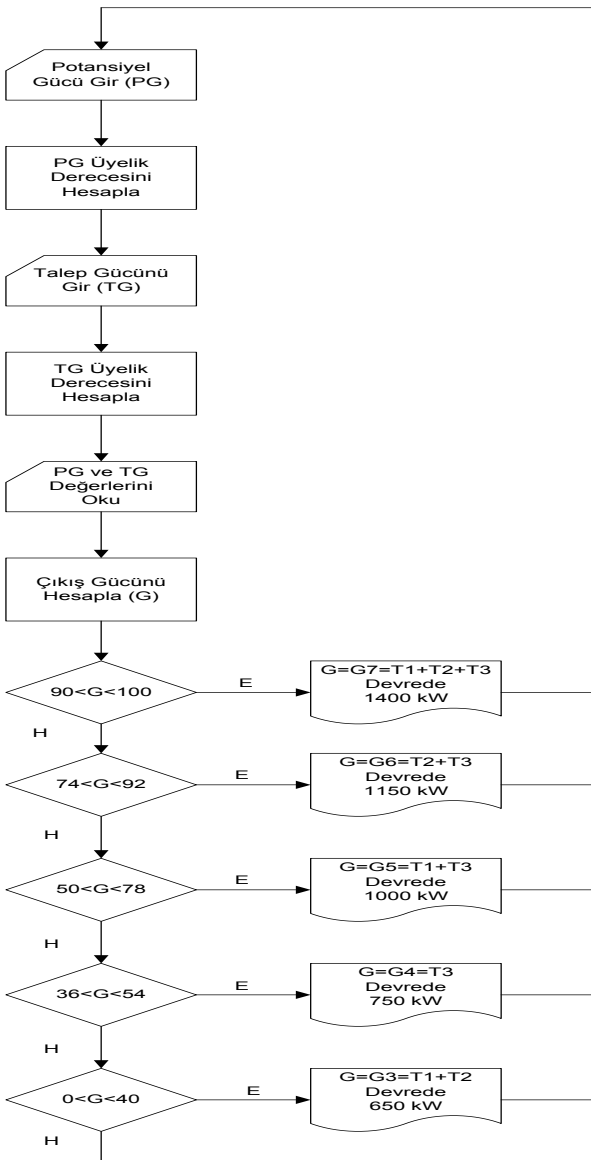
Çizelge 4: Kural tabanı

	TCA	TA	TN	TF	TCF
PCA	G3	G3	G3	G3	G3
PA	G3	G4	G4	G4	G4
PN	G3	G5	G5	G5	G5
PF	G3	G5	G6	G6	G6
PCF	G3	G5	G6	G7	G7



Şekil 5: Çıkış gücü üyelik derecesi

Şekil 5, Çizelge 4'teki kural tabanına göre oluşturulmuştur. Buna göre G3 çıkış gücü yüzdesi yaklaşık %40, G4 çıkış gücü yüzdesi yaklaşık %18, G5 çıkış gücü yüzdesi yaklaşık %28, G6 çıkış gücü yüzdesi yaklaşık %18 ve G7 çıkış gücü yüzdesi yaklaşık %10'dur [5].



Şekil 6: Bulanık mantık algoritması [5]

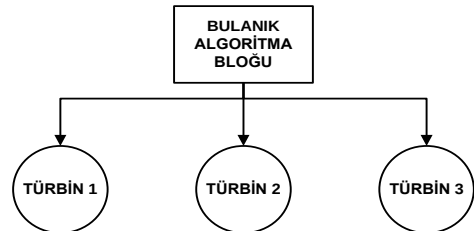
Şekil 6'da sonsuz çevrim bulunan BM algoritması akış diyagramı görülmektedir. Algoritmada PG ve TG değerlerinin üyelik derecelerine göre sistemin çıkış gücü hesaplanmaktadır. Öncelikle maksimum çıkış gücünden yola çıkılarak kademe kademe diğer çıkış güçlerine bakılır ve tekrar en başa dönülür. Çıkış gücü %90 ile %100 arasında ise maksimum güç olan T1, T2 ve T3 türbinleri devreye alınır. Çıkış gücü %74 ile %92 arasında ise T2 ile T3; %50 ile %78 arasında ise T1 ile T3; %36 ile %54 arasında ise sadece T3 devreye alınır. Çıkış gücü %0 ile %40 arasında ise T1 ile T2 devrededir. Örneğin, PG değeri 400 kW ve TG değeri 300 kW alınırsa çıkış gücü %20 ile G3 çıkış gücünü vermektedir. Bu durumda sadece T3 türbini devrede olacaktır. Başka bir örnek vermek gerekirse, PG değeri 800 kW ve TG değeri 900 kW olması durumunda çıkış gücü %73,3 olacak ve G5 çıkış gücüne karşılık gelecek buna bağlı olarak T1 ve T3 türbinleri devrede olacaktır. Daha yüksek güç değerleri için örneğin, PG değeri 1000 kW ve TG değeri 1150 kW olduğunda çıkış gücü %87,5 olur. Bu durumda G6 aktif olup T2 ile T3 türbinleri devrede olacaktır. Bu algoritmada sürekli olarak geri bildirim ve kontrol çevrimi vardır. Böylece sistem kendi kendine karar vererek hangi türbini devreye alacağını ya da hangisini devreden çıkaracağını belirlemektedir [5].

5. Bulanık Denetleyici Seçimi

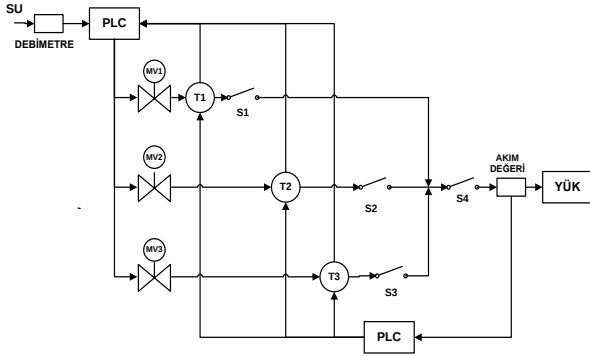
PLC, endüstriyel otomasyon ve enerji sistemlerindeki; sıra denetimi, hareket denetimi, süreç denetimi ve veri yönetimi uygulamalarında yaygın kullanımı, ayrıca kullanım kolaylığı, taşınabilirliği, montajı, haberleşmeye uygunluğu ve ucuzluğu gibi nedenlerden dolayı BM denetleyici olarak tercih edilmiştir [6]. Bu kontrolü gerçekleştirirken PLC'nin içinde gömülü olan bulanık işlemci kullanılmıştır. Özellikle analog input ve analog outputlar kullanılarak su debisi ve yük akımları sürekli olarak sensörler ve akım trafoları ile 4-20 mA'lık akım sinyaline dönüştürülmüştür. Bu sinyallere göre PLC ve operatör paneli programlanmış, PLC içerisindeki BM denetleyici modülü ile kontrol algoritması oluşturulmuştur. Su miktarı ve yük değerlerine göre BM algoritmaları PLC'de hangi türbin ya da türbinlerin devreye alınıp alınmayacağına karar verilmektedir [7].

5.1. PLC Programı

Şekil 7'de akış diyagramı verilen bulanık kontrolle modellenen sistemin PLC programı Şekil 8 ve Şekil 9'da temel kuralları ile gösterilmektedir. Motorlu vanaların kontrolü tamamen akım trafosundan alınan akım değeri ile debimetreden alınan su debi bilgisine göre BM algoritmaları PLC tarafından sağlanmaktadır.

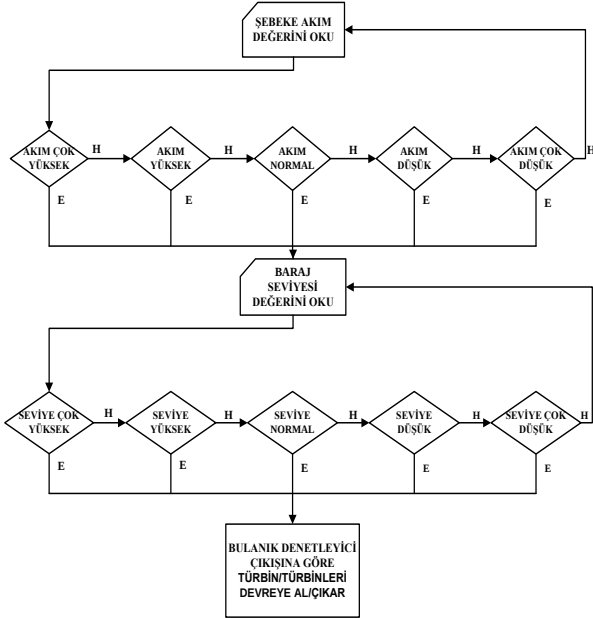


Şekil 7: Bulanık kontrollü modellenmiş sistem akış diyagramı



Şekil 8: PLC akış diyagramı

Şekil 8'de MV1, MV2 ve MV3 türbinleri devreye alan motorlu vanaları, T1, T2 ve T3 türbinleri, S1, S2 ve S3 alternatörleri paralel bağlayacak şalterleri ve S4'de santrali yerel orta gerilim (OG) şebekesine bağlayan kesiciyi göstermektedir.



Şekil 9: PLC programı algoritması

Yerel OG şebekesine bağlantı yapacak şalter kapatılmadan önce türbinlerin önündeki vanalar açılarak ilgili alternatör üretime hazır hale getirilir. Başlangıç aşamasında sistem baraj doluluk seviyesine göre maksimum üretilebilecek potansiyel elektrik gücü belirlenir ve buna göre devreye gereken kapasite ve sayıda türbini/alternatörü olarak çalışmaya başlar. Sistem tarafından türbinlerin devreye alınmasının ardından şebeke şalterleri 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. (Uygulamada kararlılık süresi 2 dakika alınmıştır). Bu işlemlerden sonra sonsuz döngüdeki bulanık mantık algoritması devreye girer. Şekil 8'de görüldüğü gibi PLC programının bulanık kontrol kısmı, yük akımının izlenmesi, baraj seviyesinin izlenmesi ve PLC

kontrollü motorlu vana blokları arasında gerçekleşmektedir. Şekil 8'deki PLC akış diyagramında görüldüğü gibi alınan akım değerleri ile su debisine göre türbinlerin kontrolü başlar. Alınan akım değerleri PLC karar bloğunda işlenir ve kaç türbinin kalacağı belirlenir. Devreden çıkacak türbin var ise ilgili şalter açılarak sistemde ihtiyaç oranında türbin devrede bırakılır. Bu döngü bulanık mantık algoritmasında da görüldüğü gibi sürekli olarak tekrar etmektedir [6,7].

6. Sonuç

Bu çalışmada Kayaboğazı barajının mevcut su potansiyelinden maksimum güç elde etmek için bir BM tabanlı kontrol algoritması geliştirilmiştir. PLC ile bulanık kontrolü yapılan Kayaboğazı barajı HES'de türbinlerin maksimum verimde kullanılmaları sağlanarak maksimum çıkış gücü elde edilmeye çalışılmıştır. BM kontrolü türbinlere su geçişini sağlayan motorlu vanalar tarafında yürütülerek türbin hız kontrolü ve türbinlerin devreye alınıp çıkarılmasında BM algoritmali PLC'den faydalanılmıştır. Böylece Kayaboğazı barajının KÖHES'lere örnek olarak üretilbilir enerji potansiyeli değerlendirilmiştir. Modellemede farklı güçlerdeki türbinlerin farklı kombinasyonlarda kullanımları ile arz ve talep dengesine göre optimum enerji üretimi gerçekleştirilmiştir. Sürekli olarak yük akımı miktarı ve su debisi değerleri alınarak kapalı bir döngü üzerindeki BM kontrolü PLC ile gerçekleştirilmiştir. Kayaboğazı barajının BM temelli olarak optimum 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.

7. Kaynaklar

- [1] Aslan, Y., Yaşar, C. ve Karabörk M.Ç., "Bir Mikro-Hidro Örneği : Kayaboğazı Barajı" *ELECO 2004, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, s:20-25, 8-12 Aralık, 2004. Bursa.
- [2] Aslan, Y., Arslan, O. ve Yaşar C. "A sensitivity analysis for the design of small-scale hydropower plant: Kayabogazi case study", *Renewable Energy*, Vol.33(4), pp.791-801, 2008.
- [3] Paish, O., 'Small Hydro Power Technology and Current Status', *Renewable & Sustainable Energy Reviews* Vol.6, pp 537-556, 2002.
- [4] Adzic, E., Ivanovic, Z., Adzic, M. ve Katic V. "Maximum Power Search in Wind Turbine Based on Fuzzy Logic Control", *Acta Polytechnica Hungarica*, Vol. 6, No. 1, 2009.
- [5] 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.
- [6] Aslan, Y. ve Türe, Ş. "Location of faults in 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.
- [7] Özçalık, H.R., Türk, A., Yıldız, C. ve Koca Z. "Kati Yakıtlı Buhar Kazanında Yakma Fanının Bulanık Mantık Denetleyici ile Kontrolü", *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 11(1), 2008.