



Modern Optimizasyon Yöntemleri ile Bir Hidroelektrik Santralde Frekans Kontrolü

Frequency Control in a Hydroelectric Power Plant with Modern Optimization Methods

Hasan Tiryaki ^{*1} , Alper Gün ¹ 

¹İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, 34320 İSTANBUL

Başvuru/Received: 25/05/2018

Kabul/Accepted: 17/12/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2018

Öz

Güç sistemlerinde, tüketicinin beklentisi olan sabit frekans, sabit gerilim ve istenen değerdeki güç üretilen elektrik enerjisinin kalitesini belirler. Bu sebeple güç sistemlerinde frekans kontrolü oldukça önemlidir. Bu çalışmada, bir hidroelektrik santralının yük-frekans kontrolü, güç sistemine uygulanan klasik PI kontrolör ile parametreleri Parçacık Sürüsü Optimizasyonu yöntemi ve Yapay Arı Kolonisi yöntemi kullanılarak optimize edilen PI Kontrolör simülasyon ortamında karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler

"Güç Sistemleri, Frekans Kontrolü, Hidroelektrik Santral, PI Kontrolör, Parçacık Sürüsü Optimizasyonu, Yapay Arı Kolonisi"

Abstract

In power systems, fixed frequency, constant voltage and power at desired value determine the quality of the generated electric energy. For this reason, frequency control is very important in power systems. In this study, load-frequency control of a hydroelectric power plant is compared in simulation with a PI controller optimized with Particle Swarm Optimization method, a PI controller optimized with the Artificial Bee Colony method and the classical PI controller.

Key Words

"Power Systems, Frequency Control, Hydroelectric Power Plant, PI Controller, Particle Swarm Optimization, Artificial Bee Colony"

1. GİRİŞ

Tüketici talebindeki ani değişimler, şebekelerdeki ve üretimdeki arızalar gibi nedenlerden dolayı, sistem frekansında bazı değişimler ve hatta bozulmalar olmaktadır. Ancak sistem frekansında oluşan dalgalanmalar belirli sınırlar içinde tutulmalıdır. Aksi halde, aşırı salınımlar nedeniyle şebekeden yük atılması ve dolayısıyla tüketicinin büyük zararlara uğraması söz konusudur. Bütün bunların yanında, elektriğin üretim maliyeti artmakta ve ayrıca çıkış sinyalinin genliğinde oluşan dalgalanmalar nedeniyle de santral içindeki teçhizatın ekonomik ömrü azalmaktadır. Bu nedenlerden dolayı, santrallerde yük-frekans kontrolörleri sistem çıkışında oluşan hataları hızlı bir şekilde belirleyerek mümkün olduğunca yok etmeli ya da etkisiz olacağı sifıra yakın bir değere getirmelidir (Kocaarslan, Çam, 2002).

Hidroelektrik enerji, suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesi ile sağlanan temiz ve yenilenebilir bir enerji türüdür. Suyun üst seviyelerden altta bulunan türbinlere düşürülmesi sırasında potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüştürülmesi sağlanarak, elde edilen mekanik enerjinin türbinlere bağlı jeneratörleri döndürmesi ile de elektrik enerjisi üretilmektedir.

Dünya geneline bakıldığında elektrik enerjisinin büyük çoğunluğunun, termik elektrik santralleri, doğalgaz çevrim santralleri, nükleer enerji santralleri, tıbbi atık santralleri vs. gibi fosil yakıt ile çalışan elektrik santrallerinde üretildiği görülmektedir. Bu santral tiplerinin doğal çevrenin korunmasına verdiği zararlar ve riskler bilinmektedir. Bu durum göz önüne alındığında enerji üretiminde fosil yakıtlı santrallerin yerine hidroelektrik santraller gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üreten santrallerin kullanılması zorunludur. Yenilenebilir enerji santrallerinin yakıt kullanmadan enerji üretebilmesi hem çevrenin korunmasına katkı sağlamakta hem de üretilen enerjinin devamlılığını ve verimliliğini arttırmaktadır.

Ülkemizin enerji talebinin yeteri kadar yedekli bir arz ile karşılanabilmesi için, öncelikle ulusal kaynaklara dayandırılması gerekmektedir. Yenilenebilir kaynak oluşu, en az düzeyde çevre etkisi oluşturması, çevre kirliliğine neden olmaması, işletme ve bakım masraflarının az olması ve en önemlisi ulusal niteliği ile güvenilir enerji arzı sağlayan bir kaynak oluşu, hidroelektrik enerjinin önemini büyük ölçüde arttırmaktadır (Eke, 2004).

Bu çalışmada, ülkemizde bol bulunan ve temiz enerjiler içerisinde gösterilen hidroelektrik santral modeli üzerinde bir yük-frekans kontrol uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, geleneksel kontrol yöntemlerinden olan oransal-integral (PI) kontrolör ile yeni kontrol sistemlerinden olan kazancı Parçacık Sürüsü Optimizasyonu ile ayarlanmış PI kontrolör (PSO-PI) ve Yapay Arı Kolonisi ile ayarlanmış PI kontrolör (YAK-PI) santral modeline uygulanarak sonuçlar incelenmiştir.

2. HİDROELEKTRİK SANTRALİN MODELLENMESİ

Elektrik enerjisi tüketicisine kaliteli (sabit frekans, istenen gerilim ve güç) hizmet vermek için, güç sistemi çok geniş alandaki bozuculara karşı sabit ve güvenilir kalmalıdır. Elektrik güç sistemleri gerçekte karmaşık ve doğrusal olmayan dinamik sistemlerdir. Güç sistemi içinde hidroelektrik santrallerde normal işletimi boyunca sadece küçük yük değişimlerine açık olduğu için doğrusallaştırılmış model kullanılabilir. Hidroelektrik santralin modellenmesi, jeneratör mekanik modeli ve türbin modeli olmak üzere iki kısımda incelenir.

2.1. Jeneratör Mekanik Modeli

Güç sistemi içinde jeneratörlerin dinamik davranışları önemlidir. Jeneratör, uygun bir gerilim ve frekansta mekanik gücü, elektrik gücüne çevirir. Sistem frekansı ile aktif güç dengesi birbirine bağlı olduğu için, güç sistemlerinde genelde yük-frekans kontrolü kullanılmaktadır. Jeneratör modeli de frekans değişim cevabına dayanır. Bu modeli kurabilmek için hareket ve salınım denklemlerinden faydalanılır.

Hareket Denklemleri

Mekanik denklemleri bilinen jeneratörün elektriksel modeli, dönme ataletinin salınım denklemleri yardımıyla bulunabilir. Böylece elektrik üretme kısmı küçük bozuculara hızlı cevap verebilecek lineer diferansiyel denklemlerle modellenmiş olur.

Salınım Denklemi

Salınım denklemi makinenin rotor tork açısını hızlandırma torkuyla ilişkilendirir, bu da shaft torku ile elektromanyetik tork arasındaki farktır. Mekanik tork ile elektriksel tork arasında bir denge sağlandığında jeneratörün hızı da sabitlenmiş olur. Torklar arasındaki herhangi bir dengesizlik, makede hızlanma veya yavaşlamaya neden olur. Dönen bir cisimdeki hareket denklemi;

$$T_a = J \frac{d^2 \delta_m}{dt^2} = T_m - T_e \quad (1)$$

şeklinde verilmektedir. Burada;

T_a	İvmelendirme Torku
J	Jeneratör ve Türbin Toplam Atalet Momenti
δ_m	Rotor mekanik tork açısı
t	Zaman
T_m	Mekanik Tork
T_e	Elektromanyetik Tork

olarak tanımlanmıştır. Elektriksel rotor açısız hızını kullanarak hareket denklemi birim değer şeklinde,

$$2H \frac{d\bar{\omega}}{dt} = \bar{T}_m - \bar{T}_e \quad (2)$$

elde edilir. Burada (2) eşitliği tork yerine mekanik ve elektriksel güç cinsinden düzenlenmelidir. Torka bağlı elektriksel güç denklemi olarak ifade edilir. Burada, çalışma noktası etrafındaki küçük salınımlar ve ikinci mertebeden terimlerin ihmal edilmesiyle,

$$\Delta \bar{P} = \bar{\omega}_0 \Delta \bar{T} + \bar{T}_0 \Delta \bar{\omega} \quad (3)$$

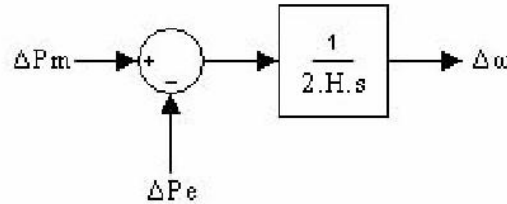
elde edilir. Mekanik ve elektriksel güç ile tork ifadeleri Eşitlik (3)'te yerine yazılırsa;

$$\Delta \bar{P}_m - \Delta \bar{P}_e = \bar{\omega}_0 (\Delta \bar{T}_m - \Delta \bar{T}_e) + (\bar{T}_{m0} - \bar{T}_{e0}) \Delta \bar{\omega} \quad (4)$$

elde edilir. Kararlı halde, mekanik tork elektriksel torka eşittir ($T_{m0} = T_{e0}$). Buna göre (2) ve (3) Eşitlikleri birleştirilerek, mekanik güç, elektriksel güç ve hız değişimi arasındaki ilişki,

$$\Delta \bar{P}_m - \Delta \bar{P}_e = 2Hs \Delta \bar{\omega} \quad (5)$$

olarak elde edilir. Denklem (5)'in blok diyagramı Şekil 1' de gösterilmiştir;



Şekil 1. Hız ve güç arasındaki transfer fonksiyonu.

Jeneratörün Yüklenmesi

Bazı durumlarda, izole edilmiş yük kaynağını besleyen jeneratör ve yerel yükün güç karakteristiklerini hesaba katmak amacıyla daha ayrıntılı jeneratör modeli gerekmektedir. En yaygın kullanılan statik model, sabit akım olarak aktif gücü ve sabit empedans olarak reaktif gücü temsil eder. Yükler çok çeşitli elektriksel elemanlardan meydana gelmiş olup, sistemin kısa zaman kararlılığı ile ilgilenildiğinden, statik yük modeli denklemlerini kullanmak yeterli olacaktır. Sistem geriliminin sabit kaldığını varsayarak ve sabit akım modelini kullanarak aktif gücü;

$$P_L = P_0 + P_0 D_{pf} \Delta_f \quad (6)$$

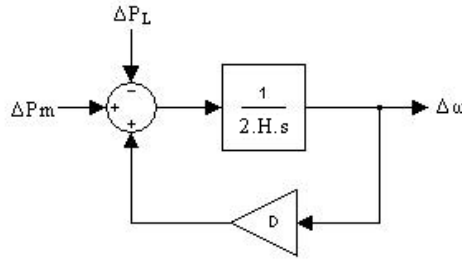
şeklinde tanımlayabiliriz. Bu eşitliğin ilk terimi (P_0) frekansa duyarlı ve ikinci kısmı ise frekansa duyarlı yük değişimini göstermektedir. Eşitlik (6)'da ikinci mertebeden terimler ihmal edilerek, küçük sinyal analizi için Eşitlik (7) elde edilir.

$$\Delta P_L = \Delta P_0 + D \Delta_f \quad (7)$$

Sönümleyici terim ($D = P_0 \cdot D_{pf}$), bağlanan yükte ve yük frekans duyarlılık parametresiyle orantılıdır. Eğer ünite az yüklenmişse sönümleyici sifra yaklaşabilir. Burada Eşitlik (5)'le Eşitlik (7) birleştirilerek, D sönümlü tek bir yüke bağlanmış makinenin hareketini tanımlayan transfer fonksiyonu,

$$\Delta \bar{P}_m - \Delta \bar{P}_e = (\bar{T}_m s + \bar{D}) \Delta \bar{\omega} \quad (8)$$

elde edilir (Kundur, 1994). Şekil 2, Eşitlik (8)'in blok diyagramını göstermektedir.



Şekil 2. Dönen kütle ve yükün blok diyagramı.

2.2 Türbin Modeli

Bu model küçük sinyal analizinde ve kontrol dizaynı çalışmalarında kullanılır. Cebri boru-türbin temel denklemlerinin doğrusallaştırılması ile elastik olmayan su yükü transfer fonksiyonu elde edilebilir. Ayrıca mekanik güçteki küçük değişimler dağıtıcı açıklığındaki değişimlere bağlıdır (Janssens, De Jaeger, et al. 1994). Bu sonuçlar Eşitlik (9)'daki birinci derece transfer fonksiyon denkleminde gösterilir;

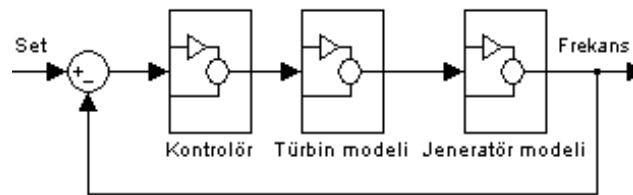
$$\frac{\Delta P_m(s)}{\Delta G(s)} = \frac{1 - T_w s}{1 + 0.5 T_w s} \quad (9)$$

Burada;

T_w Su zaman sabiti
 P_m Türbin mekanik gücü
 G Dağıtıcı pozisyonu
olarak tanımlanmıştır.

3. YÖNTEM

Sistemin kontrolünü sağlamak için kullanılan blok diyagram Matlab R2015a Simulink (MATLAB R2015a, Reference Manual, 2015) programında geliştirilmiştir (Şekil 3). Blok diyagramda görülen kontrolörün yerine ilk olarak geleneksel oransal-integral (PI) kontrolör, sonra parçacık sürüsü optimizasyonu ile ayarlanmış (PSO-PI) kontrolör, daha sonra da yapay arı kolonisi optimizasyonu ile ayarlanmış (YAK-PI) kontrolör kullanılmıştır.



Şekil 3. Hidroelektrik sistemin kontrol blok diyagramı.

Sistemde kullanılan geleneksel PI kontrolörün kazanç parametreleri, sistem cevap eğrisi yöntemine göre belirlenmiş ve optimize edilmiştir. Buna göre PI kontrolörün parametreleri; $K_p = 1,5000$, $K_i = 0,2000$ olarak bulunmuştur. Klasik kontrolörlerde hesaplanan parametrelerin sistemin işletim süresi boyunca sabit kalmasından dolayı bu kontrolörler sistemdeki değişimlere adapta olmakta zorluk çekmektedirler. Bunun yerine bu parametrelerin başka bir kontrolör tarafından sistemdeki değişimlere göre sürekli olarak değiştirilerek uygulanması bu kontrolörlerin sistemi daha iyi bir şekilde kontrol etmesini mümkün kılmaktadır (Hızal, 1999).

3.1. PI Parametrelerinin Optimizasyonu

3.1.1. Parçacık sürüsü optimizasyonu yöntemi ile optimize edilen PI kontrolör (PSO-PI)

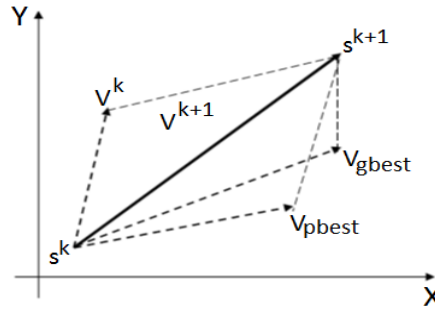
PSO kullanarak sayısal problemlerin optimizasyonu, kuş sürülerinin sosyal davranışlarını esas alarak oluşturulmuştur. PSO'da, sürünün her bir bireyi (parçacık veya zeki birey denilebilir) çözüm uzayında dolaşmaktadır. Her bir parçacık optimizasyon probleminin birer aday çözümünü göstermektedir. Herhangi bir parçacığın pozisyonu, kendisinin daha önce ziyaret ettiği en iyi çözüm (kendi deneyimi) ve bütün sürüde ziyaret edilen en iyi konumdan etkilenmektedir. Burada bahsedilen en iyi pozisyon, bundan sonra isim olarak *global en iyi* olarak adlandırılacaktır. Her bir parçacığın performansı (global en iyi değere ne kadar yakın olduğu) uyumluluk (fitness) fonksiyonu kullanılarak hesaplanmaktadır.

İki boyutlu çözüm uzayında her parçacık XY koordinat düzleminde çözüm aramaktadır. Parçacığın hızı v_x ve v_y (X ve Y eksenleri boyunca hareket) ile tanımlanmaktadır. Her birey kendi en iyi değerini " p_{best} " değişkeni ile tanımlamaktadır. Bu parametre herbir bireyin kendi geçmişinin analogisidir. Her parçacık grubun en iyi değeri olan g_{best} bilgisini ve p_{best} bilgisini hafızasında tutmaktadır. Herbir bireyin pozisyon ve hızları aşağıda verilen denklem (10) ve denklem (11) kullanılarak hesaplanmaktadır (Kennedy, Eberhart, 1995).

$$\vartheta_i^{k+1} = \vartheta_i^k + c_1 \text{rand}_1 \cdot (p_{best_i} - s_i^k) + c_2 \text{rand}_2 \cdot (g_{best} - s_i^k) \quad (10)$$

$$s_i^{k+1} = s_i^k + \vartheta_i^{k+1} \quad (11)$$

Şekil 8, parçacık sürüsü optimizasyonu süresince arama noktasının hareketini göstermektedir [7]. Şekil 4'de s^k ve s^{k+1} sırasıyla geçerli ve yeni parçacık konumlarını göstermektedir. Aynı şekilde ϑ^k ve ϑ^{k+1} sırasıyla geçerli ve yeni hızlarını göstermektedir. $\vartheta_{p_{best}}$ ve $\vartheta_{g_{best}}$, p_{best} ve g_{best} konumlarına göre hızları göstermektedir. Bu vektörlerin parçacığın konumunu değiştirmeleri aşağıda gösterilmiştir;



Şekil 4. Arama Noktasının Hareket Prensipleri [7].

Hızı belli bir oranda sönmölemek ve kontrol edilemeyen osilasyonların belli bir limit dâhilinde tutulmasını sağlayabilmek için aşağıdaki denklemler kullanılır;

$$v^{maks.} = (x^{maks.} - x^{min.}) (\%10 \sim \%20) \quad (12)$$

$$v^{min.} = -v^{maks.} \quad (13)$$

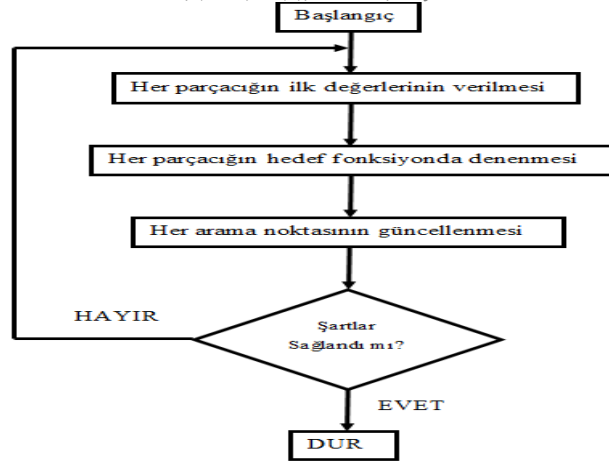
Aşağıdaki denklemde Clerck'in (Clerck, 1999) yayınladığı metot ile parçacıklar *kısıtlama katsayıları* kullanılarak belli değerler arasında tutulmaktadır.

$$\vartheta_i^{k+1} = X \cdot [\vartheta_i^k + c_1 \text{rand}_1 \cdot (p_{best_i} - s_i^k) + c_2 \text{rand}_2 \cdot (g_{best} - s_i^k)] \quad (14)$$

X, kısıtlama katsayısıdır ve aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$X = \frac{2}{|2 - \varphi - \sqrt{\varphi^2 - 4\varphi}|}, \quad \varphi = c_1 + c_2, \quad \varphi > 4 \quad (15)$$

Kısıtlama katsayısı sayesinde optimizasyonun ilerleyen zamanlarında parçacıklar tek bir noktaya yakınlaşmaya başlayacaktır. Şekil 5'de PSO adımlarının akış şeması verilmektedir;



Şekil 5. PSO Adımlarının Akış Şeması [7].

Parçacık sürüsü optimizasyonu yöntemini kullanmak amacıyla Matlab R2015a programında (MATLAB R2015a, Reference Manual, 2015) bir yazılım geliştirilmiş ve tek bölgeli güç sistem modeli üzerinde optimizasyon yapılmıştır. Simulink modeli üzerinden e hata değerleri, her iterasyonda “hata.mat” dosyasına kaydedilerek optimizasyon yazılımına girdi yapılmıştır. Yazılımın asıl amacı; uyumluluk fonksiyonu olarak seçilen hatanın mutlak değerleri toplamını (Integral of Absolute Error-IAE) sıfıra yaklaştırmaktır.

Benzetim aşamasında parçacıkların hız aralıkları, denklem (12) ve denklem (13)’deki gibi belirlenmiştir (Kennedy, Eberhart, 1995). Lokal ve global arama performanslarının dengelenmesi için Clerc’in denklem (14) ve denklem (15)’de belirtilen X katsayısı kullanılmıştır. Buna göre c_1 ve c_2 katsayıları 2.05 alınmıştır. Benzetim için parçacık sayısı 5, iterasyon sayısı ise 10 olarak belirlenmiştir. Hedef fonksiyon olarak ise “hatanın mutlak değerleri toplamı” fonksiyonu kullanılmıştır (Gözde, Taplamacıoğlu, et al 2008).

Yazılımın çalıştırılması sonucunda her bir çıkış için kullanılacak parametreler, optimize edilmiş olarak Tablo 1’de görüldüğü gibi belirlenmiştir;

Tablo 1. PSO-PI parametreleri.

K_p	K_i
1,1483	0,1590

3.1.2. Yapay Arı Kolonisi (YAK) Yöntemi ile Optimize Edilen PI Kontrolör (YAK-PI)

Tipik bir bal arısı sürüsünün zeki davranışları, yiyecek arama stratejileri incelenmiş ve YAK algoritması çok boyutlu optimizasyon problemlerinin çözümüne uyarlanmıştır. YAK algoritmasında gözcü ve işçi arılar besin kaynaklarının kullanılması işlemini, kâşif arılar ise yeni besin kaynaklarının bulunması işleminde görev almaktadırlar (Akay, 2009).

Algoritmanın ana adımları Tablo 2’de verilmiştir;

Tablo 2. YAK algoritmasının temel adımları (Akay, 2009).

1: Başlangıç yiyecek kaynağı bölgelerinin üretilmesi
2: Repeat
3: İşçi arıların yiyecek kaynağı bölgelerine gönderilmesi
4: Olasılıksal seleksiyonda kullanılacak olasılık değerlerinin görevli arılardan gelen bilgiye göre hesaplanması
5: Gözcü arıların olasılık değerlerine göre yiyecek kaynağı bölgesi seçmesi
6: Kaynağı bırakma kriteri: limit ve kâşif arı üretimi
7: Until çevrim sayısı = Maksimum çevrim sayısı

Başlangıç Yiyecek Kaynağı Bölgelerinin Üretilmesi

Rastgele yer üretme süreci her bir parametrenin alt ve üst sınırları arasında rastgele değer üreterek denklem (16)’daki gibi gerçekleşir;

$$x_{i,j} = x_j^{min} + rand[0,1](x_j^{max} - x_j^{min}) \quad (16)$$

Burada $i=1 \dots SN$, $j=1 \dots D$ ve SN yiyecek kaynağı ve D ise optimize edilecek parametre sayısıdır. Aynı zamanda başlangıç aşamasında her kaynağın geliştirilmeme sayısını ifade eden $failure_i$ değeri de sıfırlanmaktadır (Akay, 2009).

İşçi Arıların Yiyecek Kaynağı Bölgelerine Gönderilmesi

Yeni kaynağın mevcut kaynak komşuluğunda belirlenmesinin benzetimi denklem (17) ifadesiyle tanımlanmaktadır.

$$v_{i,j} = x_{i,j} + \varphi_{i,j}(x_{i,j} - x_{k,j}) \quad (17)$$

x_i ile gösterilen her bir kaynak için bu kaynağın yani çözümün tek bir parametresi (rastgele seçilen parametresi, j) değiştirilerek x_i komşuluğunda v_i kaynağı bulunur. $\varphi_{i,j}$ $[-1,1]$ aralığında rastgele seçilen ağırlık faktörüdür.

Bu işlem sonucunda üretilen $v_{i,j}$ 'nin daha önceden belli olan parametre sınırlarını aşması durumunda j . parametreye ait olan alt veya üst sınır değerlerine ötelenmektedir.

$$v_{i,j} = \begin{cases} x_j^{\min} & , \quad v_{i,j} < x_j^{\min} \\ v_{i,j} & , \quad x_j^{\min} \leq v_{i,j} \leq x_j^{\max} \\ x_j^{\max} & , \quad v_{i,j} > x_j^{\max} \end{cases} \quad (18)$$

Sınırlar dahilinde üretilen v_i parametre vektörü yeni bir kaynağı temsil etmektedir.

$$fitness_i = \begin{cases} \frac{1}{1+f_i} & f_i \geq 0 \\ 1 + \text{abs}(f_i) & f_i < 0 \end{cases} \quad (19)$$

Burada f_i , v_i kaynağının yani çözümün maliyet değeridir. x_i ile v_i arasında uygunluk değerlerine göre bir aç gözlü seçme işlemi uygulanır. Yeni bulunan v_i kaynağının yerini hafızaya alınır. x_i değeri geliştirilemezse $failure_i$ bir artırılır (Akay, 2009).

Gözcü Arıların Seleksiyonda Kullanacakları Olasılık Değerlerinin Hesaplanması (Dans Benzetimi)

$$p_i = \frac{fitness_i}{\sum_{i=1}^{SN} fitness_i} \quad (20)$$

Burada $fitness_i$, i . kaynağın kalitesini, SN görevli arı sayısını göstermektedir (Akay, 2009).

Gözcü Arıların Yiyecek Kaynağı Bölgesi Seçmeleri

Her bir kaynak için $[0,1]$ aralığında rastgele sayı üretilir ve p_i değeri bu üretilen sayıdan büyükse görevli arılar gibi gözcü arı da (17) denklemi kullanarak bu kaynak bölgesinde yeni bir çözüm üretir. Sonra, yeni çözümle eski çözümün uygunluklarının karşılaştırılır. Yeni çözüm daha iyi ise bu çözüm alınır ve $failure_i$ sıfırlanır. Eski çözümün uygunluğu daha iyi ise bu çözüm muhafaza edilir ve $failure_i$ bir artırılır. Bu süreç tüm gözcü arılar için gerçekleştirilir (Akay, 2009).

Kaynağı Bırakma Kriteri: Limit ve Kâşif Arı Üretimi

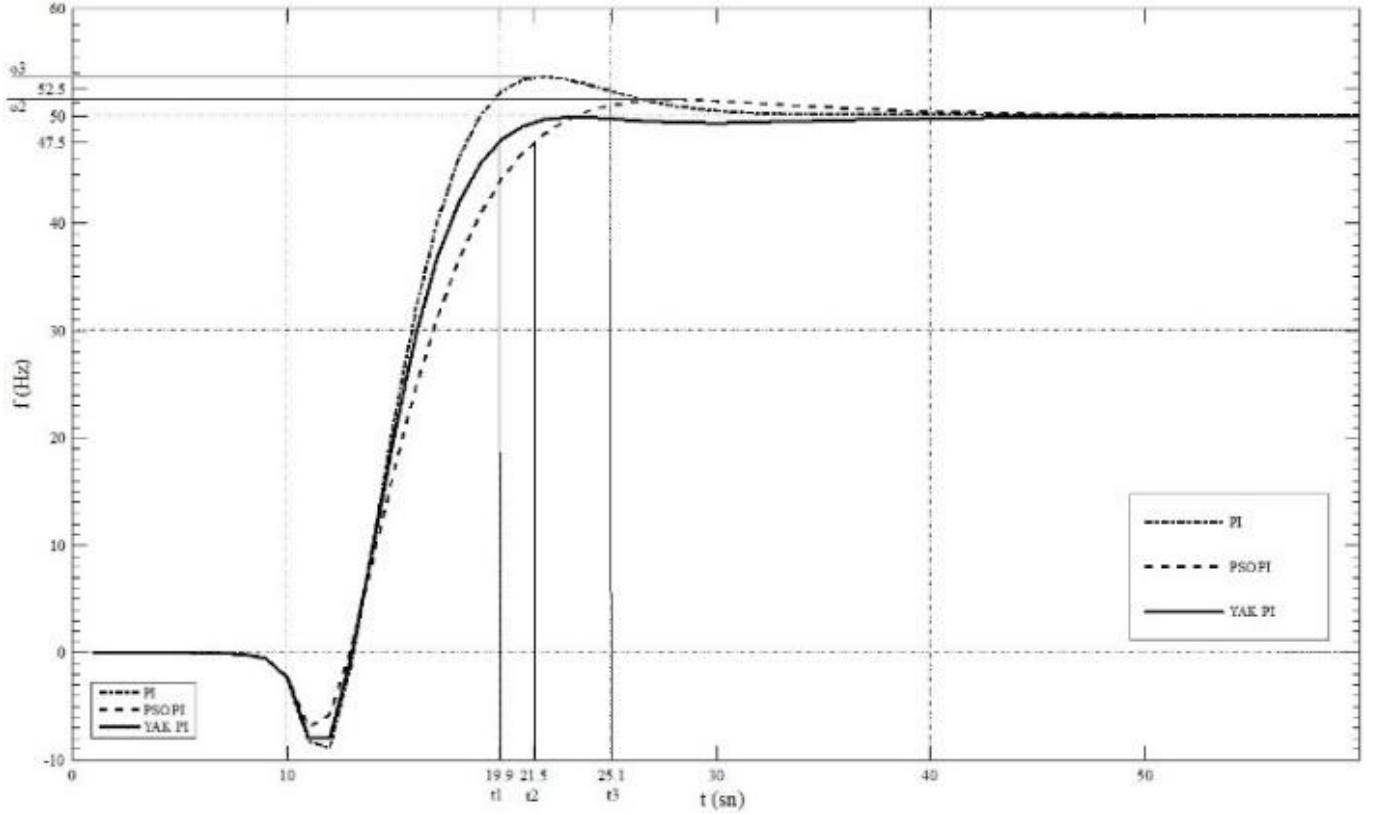
Bir çevrim sonunda $failure_i$ kontrol edilir. $Failure_i$ belli bir eşik değerinin üzerindeyse, artık bu kaynağın görevli arısının tükenmiş olan o çözümü bırakıp kendisi için başka bir çözüm araması gerekmektedir. Bu arı bir kâşif arıdır ve rastgele çözüm arama süreci başlar (denklem (16)). Temel YAK algoritmasında her çevrimde sadece bir kâşif arının çıkmasına izin verilir (Gümüş, 2012), (Tiryaki, 2013).

Yazılımın çalıştırılması sonucunda her bir çıkış için kullanılacak parametreler, optimize edilmiş olarak Tablo 3'de görüldüğü gibi belirlenmiştir;

Tablo 3. YAK-PI parametreleri	
K_p	K_i
1,4210	0,1640

4. SİMÜLASYON SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada, temel alınan hidroelektrik santrale ait simülasyon sonuçları, daha nesnel bir değerlendirme yapabilmek amacıyla, aynı şekil üzerinde gösterilmiştir. Sürekli çizgi ile gösterilen sinyal YAK-PI kontrolör kullanılarak, kesikli çizgi ile gösterilen sinyal PSO-PI kontrolör kullanılarak ve noktalı çizgi ile gösterilen sinyal ise PI kontrolör kullanılarak elde edilmiştir. Benzetim sonuçları, Şekil 6 ve Tablo 4'de gösterilmiştir.



Şekil 6. Benzetim Sonuçları.

Tablo 4. Karşılaştırma değerleri.

	YAK-PI	PSO-PI	PI
Aşma Değeri (%)	-	$o_2 \approx 3$	$o_3 \approx 10$
Oturma Zamanı (sn)	$t_1 = 19,9$	$t_2 = 21,5$	$t_3 = 25,1$

Şekil 6'da görüldüğü gibi sistemin çıkışı için istenen frekans değeri 50 Hz'dir. Karşılaştırma yapabilmek için %2,5'lik bir band kullanılmıştır. Bu band şebekede frekansın değişim aralığı olan 47.5-52.5 Hz'lik bir aralığa tekabül etmektedir. Şekilde görülen t_1 , t_2 ve t_3 , sırasıyla, YAK-PI, PSO-PI ve PI kontrolörlerin oturma zamanları; o_2 ve o_3 ise sırasıyla PSO-PI ve PI kontrolörün aşma değeridir. YAK-PI kontrolöre ait eğrinin istenen değeri aşmaması nedeniyle aşma değeri bulunmamaktadır.

Sonuçlar oturma zamanları açısından karşılaştırıldığında; YAK-PI kontrolörün diğer kontrolörlere nazaran en hızlı cevabı verdiği görülmektedir. YAK-PI kontrolörün aşma değeri yoktur, ancak PSO-PI kontrolörün istenen değere göre yaklaşık %3 oranında ve PI kontrolörün istenen değere göre yaklaşık %10 oranında bir aşma değerine sahip olduğu görülmektedir. Sonuçlardan görüldüğü gibi PSO-PI kontrolör kullanılarak sistemde büyük iyileştirmeler sağlanmıştır. Bu iyileştirmelerin tek bir hidroelektrik santral için yapıldığı ve ülkemizin %25 enerji ihtiyacının bu tip santrallerle karşılandığı düşünüldüğünde yapılan iyileştirmenin önemi daha da iyi anlaşılacaktır.

5. SONUÇ

Hidroelektrik santrallerin üretimi, yağış koşullarına bağımlı olduğundan her yıl toplam üretim içindeki payı değişim göstermekle birlikte, Türkiye’de elektrik enerjisinin yaklaşık %25’i sudan üretilmektedir. Üretilen enerjinin büyüklüğü bu santrallerin kontrolünün önemini arttırmaktadır.

Simülasyon sonuçlarından da anlaşıldığı gibi, YAK-PI kontrolör kullanıldığında sistem hem oturma zamanı hem de aşma değeri açısından diğer kontrolörlere göre daha olumlu sonuçlar vermektedir. Buna göre bu tür hidroelektrik santrallerin yük-frekans kontrolünde klasik kontrolörler yerine YAK-PI kontrolör gibi modern kontrol tekniklerin kullanılmasının uygun olduğu görülmektedir. Modern kontrol ve optimizasyon yöntemlerinin kullanımı sayesinde santral ekipmanlarının verimliliği artacak, bu ekipmanların yıpranma payı azalacaktır. Ayrıca elektrik üretim fiyatlarındaki azalma ile de tüketiciye bir avantaj sağlanmış olacaktır. En önemlisi ise, giderek tükenmekte olan, çevreyi kirleterek tehlike saçıyan fosil yakıtlarından enerji üretilmesi bu sayede azaltılmış olacaktır.

REFERANSLAR

Akay B., *Nümerik Optimizasyon Problemlerinde Yapay Arı Koloisi (Artificial Bee Colony) Algoritmasının Performans Analizi*, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. (2009).

Clerck M., The swarm and the queen: towards a deterministic and adaptive particle swarm optimization, *Proceedings of the Conference on Evolutionary Computation, 1951-1957*. (1999).

Eke İ., *Hidroelektrik Santrallerin Modellenmesi ve Simülasyonu*, Kırıkkale Üniversitesi F.B.E., Yüksek Lisans Tezi (2004).

Gözde H., Taplamacıoğlu M.C., Kocaarslan İ., Çam E., Particle swarm optimization based load frequency control in a single area power system, *University of Pitesti, Electronics and Computers Science, Scientific Bulletin, 2(8)*, 106-110. (2008).

Gümüş K., *Güç Santrallerinde Primer Frekans, Yük Kontrolü*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. (2012).

Hızal N. A., Gain Scheduling Adaptive Model Control, *Turk. J. Engin. Environ. Sci.*, 23, 209-218 (1999).

Janssens N., De Jaeger E., Malfliet B., Van de Meulbroeke F., *IEEE Transactions on Power Systems*, 9, 1709 (1994).
MATLAB R2015a, Reference Manual, (2015).

Kennedy J., Eberhart R., Particle swarm optimization. 9. *Neural Networks, 1995. Proceeding IEEE Conference on Nov/Dec, 1942-1948*. (1995).

Kocaarslan İ., Çam E., İki Bölgeli Enterkonnekte Güç Santrallerinin Yük-Frekans Kontrolü, *TOK 2002* (2002).

Kundur P., *Power System Stability and Control*, Mc Graw-Hill Inc., New York (1994).

MATLAB R2015a, Reference Manual, (2015).

Tiryaki H., *Modern Kontrol Yöntemlerinin Yük Dağıtım Sistemlerinde Uygulanması*, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi. (2013).