



Yapay Arı Kolonisi Algoritmasına Dayalı PID Denetleyicisini Kullanan Termal Üniteli Mikro Şebeke Güç Sisteminde Frekans Kontrolü

Frequency Control in Microgrid Power System with Thermal Unit Using PID Controller Based on Artificial Bee Colony Algorithm

İbrahim Eke

¹Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, 71450, Kırıkkale/TÜRKİYE

Başvuru/Received: 16/10/2020

Kabul / Accepted: 27/11/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/12/2020

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2020

Öz

Birbirine bağlı güç sistemlerinde frekansta meydana gelen sapmalar güç sistemlerinde kararsızlığa neden olmaktadır. Frekansın sabit kalması ve salınım yapmaması için güç sisteminde üretilen ve tüketilen enerji arasında denge olmalıdır. Bu çalışmada, tek bölgesel güç sisteminde yük-frekans kontrolünün gerçekleştirilmesi için, güç sisteminin blok diyagramı oluşturulmuş ve PID kontrolör kullanılmıştır. Çalışmada iki farklı test sistemi kullanılmıştır. Birincisi tek bölgesel klasik güç sistemi ikincisi de mikro şebeke içeren güç sistemidir. PID kontrolörün parametrelerini belirlemek için yapay arı kolonisi (YAK) algoritmasından yararlanılmıştır. Yapay Arı Kolonisi (YAK) algoritması, son yıllarda sıklıkla kullanılan sürü tabanlı bir algoritmadır. YAK, bir bal arısı sürüsünün akıllı yiyecek arama davranışını simüle eder. Bu çalışma için algoritmayı geliştirmek için YAK algoritmasına kaotik harita eklenmiştir. Kontrolör olmadığı sistemler için frekans değişiminin kararsız olduğu gözlenmiştir. Yapay arı kolonisi algoritmasının hem klasik hem de kaotik harita eklenmiş hali ile PID parametreleri belirlenmiştir. PID kontrolör tarafından kontrol edilen güç sistemine basamak yük değişimi uygulandığında sistemin kararlı hale geldiği görülmüştür. Benzetim çalışmaları sonucuna göre Kaotik harita ekli YAK algoritması daha başarılı olmuştur.

Anahtar Kelimeler

“Yük frekans kontrolü, PID Kontrolör, Mikro Şebeke, Yapay arı kolonisi, Kaotik harita”

Abstract

Variations in frequency in interconnected power systems cause instability in power systems. In order of the frequency to remain constant and not to oscillate, there must be a balance between the energy produced and consumed in the power system. In this study, a block diagram of the power system is created and a PID controller is used to perform load-frequency control in a single area power system. Two different test systems are used in the study. The first is a single area classical power system and the second is a power system containing the micro grid. Artificial bee colony (ABC) algorithm is used to determine the parameters of the PID controller. The Artificial Bee Colony (ABC) algorithm is a swarm-based algorithm that has been used frequently in recent years. ABC simulates the intelligent foraging behavior of a honey bee swarm. The chaotic map has been added to the ABC algorithm to improve the algorithm for this study. It has been observed that the frequency change is unstable for systems without a controller. The PID parameters are determined by the addition of both classical and chaotic maps of the artificial bee colony algorithm. It has been observed that the system becomes stable when a step load change is applied to the power system controlled by the PID controller. According to the results of the simulation studies, the ABC algorithm with the chaotic map was more successful.

Keywords

“Load Frequency Control, PID Controller, Micro Grid, Artificial Bee Colony, Chaotic Map”

1. Giriş

Enerji ihtiyacı nüfus artışı, teknolojik ve sosyal gelişimler gibi sebepler nedeniyle son yıllarda sürekli artış içerisinde. Bu artan enerji ihtiyacının karşılanması için enterkonnekte güç sistemleri oluşmuştur. Enterkonnekte güç sistemlerinin kararlı çalışabilmesi için, anlık enerji ihtiyaçları karşılanmalı, aktif ve reaktif güç dengesi korunmalı, frekans ve bara gerilim değerlerinin denge değerinde sabit tutulmalıdır (Gözde, 2010).

Son yıllarda alternatif enerji kaynakları güneş, rüzgar, yakıt hücresi ve dizel jeneratörler vb. uygun maliyet, çevre dostu olması yönünden daha kaliteli güç kaynaklarıdır. Böylece birkaç küçük ölçekli üretim kaynakları, mikro şebeke oluşturmak için birleştirilir. Mikro Şebekeler mikro kaynakları ve depolama cihazlarını baralar ile küçük yüklerle bağlayan düşük gerilimli şebekelerdir. Güneş / rüzgar enerjisi üretimindeki değişiklikler nedeni ile güç talebin zamanın da aktarımını sağlayamaz. Bu nedenle, güç üretim sistemleri, yük ve yenilenebilir enerji kaynakları arasındaki bu uyumsuzluğu düzeltmek için depolama sistemlerini kullanır.

Güç sistemlerinde kararlılığı belirleyen en önemli parametrelerden biri olan frekans, aktif güç dengesine bağlıdır. Üretilen ve tüketilen enerjide farklılıklar oluştuğunda sistem frekansı bu duruma bağlı olarak değişim göstermektedir. Güç sisteminin kararlılığının bozulmaması için frekans değerinin uluslararası sınırlar içerisinde UCTE (Union for the Coordination of the Transmission of Electricity) kriterlerine bağlı olarak 49,8-50,2 Hz arasında olması gerekmektedir (YALÇIN, Ertuğrul, VARDAR, & Lüy, 2010).

Sistem frekansının yük değişimlerine bağlı olarak sabit değerlerde tutulması işlemine 'Otomatik Üretim Kontrolü' veya 'Yük Frekans Kontrolü (Load frequency control, LFC)' denilmektedir (Cam & Kocaarslan, 2002). Bu konuda birçok çalışma tek bölgesel veya çok bölgesel sistemlerin incelenmesi olarak literatürde mevcuttur.

Literatürdeki çalışmalarda frekansın genelde PID kontrol ve PI kontrol ile dengede tutulmaya çalışıldığı ve bunlarının parametrelerinin ise çeşitli optimizasyon yöntemleri yardımıyla bulunduğu görülmektedir. 1997 yılında Chang ve Fu, iki bölgesel enterkonnekte sisteminde PI kontrol yardımıyla yük-frekans kontrolünü gerçekleştirmişler, kontrolörün parametreleri iki kurallı bulanık mantıkla ayarlamışlardır (Chang & Fu, 1997). Du ve Li çalışmalarında PI ve PID kontrolör kullanmışlar, kazançları genetik algoritma yardımıyla bulmuşlardır (Du & Li, 2006). Abdel-Magid ve Abide, kontrolör olarak PI ve I kullanarak LFC'yi incelemiştir. Bu çalışmada kazançları bulmak için parçacık sürüsü algoritması kullanmıştır (Abdel-Magid & Abido, 2003). Gözde ve arkadaşları, iki bölgesel bir enterkonnekte sistemi için çilgin parçacık sürüsü algoritması kullanmışlardır (Gözde, Kocaarslan, Taplamacıoğlu, & Çam, 2008).

Yukarıda belirtilen klasik çalışmalar üzerine son yıllarda literatürde sıklıkla mikro şebekelerin yük frekans kontrolüne etkisi incelenmiştir. Sahu ve arkadaşları, iki alanlı bir AC mikro şebeke sistemindeki yük frekansı kontrolünü, geliştirilmiş salp sürüsü ile optimize edilmiş tip II bulanık denetleyicisiyle gerçekleştirmişlerdir (Sahu, Mishra, Prusty, & Panda, 2018). Kayalvizhi ve arkadaşları, izole edilmiş bir mikro şebekenin yük frekansı kontrolü için bulanık uyarlamalı yük model öngörülü kontrol yaklaşımını sunmuşlardır. Önerilen yöntemin etkinliğini performans indeksi ile karşılaştırmışlardır. Bu yöntemin daha iyi sonuçlar verdiğini benzetim çalışmaları ile doğrulamışlardır (Kayalvizhi & Kumar, 2017). Bu çalışmada, mikro şebekeye entegre yenilenebilir enerji kaynakları için çoklu bölgede yük frekans kontrol parametrelerinin optimizasyon problemi araştırılmıştır. LFC'nin optimizasyon problemini çözmek için yapay Koyun algoritması adı verilen yeni bir meta-sezgisel yöntem uygulanmıştır (Xu, Li, Wang, Zhang, & Peng, 2018). Khalil ve arkadaşları şarj edilebilen elektrikli araç ve fotovoltaik jeneratör içeren mikro şebekede zaman gecikmesi durumunda yük frekans kontrolü incelenmiştir (Khalil, Rajab, Alfergani, & Mohamed, 2017). Khooban, zaman gecikmeli izole bir mikro şebekenin frekans kararlılığını optimal doğrusal olmayan serbest model kontrolör kullanarak sağlamışlardır. Burada kullanılan optimizasyon yöntemi ise kara delik algoritmasıdır (Khooban, 2017). Ozturk ve arkadaşları farklı sezgisel algoritmalar (optikten esinlenen optimizasyon, bakteri sürü optimizasyon, yapay arı kolonisi, karınca kolonisi optimizasyonu, gri kurt kolonisi optimizasyonu) ile şebekeden izole edilmiş mikro şebekenin frekans kararlılığını incelemiştir (ÖZTÜRK, ÇELİK, & ÖZDEMİR, 2017). Dash çalışmasında mikro şebekenin yük frekans kontrolünü sağlamak için modifiye edilmiş balina optimizasyon algoritması ile PID parametrelerini belirlemiştir. Elde edilen sonuçları önerdiği NARMA-L2 kontrolör ile karşılaştırmıştır (Dash, 2020). Bu çalışmada, elektrikli araç içeren zaman gecikmeli mikro şebeke modeli sunulmuştur. Verilen sistem için sistem kararlılığı için izin verilen maksimum gecikme belirlenmiştir (Kiliç, Khaki, Gumuş, Yılmaz, & Asker, 2018). Bu çalışmada, sabit iletişim zaman gecikmeli mikro şebeke (MG) frekans kontrol sisteminin kararlı parametre düzlemi üzerine tamsayı olmayan dereceli kontrolörün etkileri, kararlılık sınır lokusu yöntemi ile araştırılmış ve tartışılmıştır (B. Yildirim & Khooban, 2020).

Mikro şebekeler, dağıtık enerji kaynakları, enerji depolama sistemleri ve yüklerden oluşan düşük gerilimli elektrik dağıtım şebekeleridir. Elektrik şebekesinin verimli bir şekilde işletilmesinin yanında Mikro şebeke, fosil yakıtların tükenmesinden ve artan kirlilik oranlarından kaynaklanan sorunlara bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır. Mikro şebekenin olumlu ve olumsuz yanları şu şekilde sıralanabilir (Rajesh, Dash, & Rajagopal, 2020):

- Şebekede herhangi bir kararsızlık durumunda mikro şebeke, kendisine bağlı yükleri etkilemeden kendisini izole edecek ve ayıracaktır.

- Dağıtık enerji kaynakları sayısını artırarak üretim kapasitesini artırabilir veya yük atma yoluyla pik yükleri yönetebilir.
- CO2 emisyonlarını azaltarak çevre faydalarına katkıda bulunabilir.
- Genel sistem verimliliğini artırmak için 5 CHP sistemi kullanılabilir.
- Kabul edilebilir standartlarda frekans ve güç kalitesi parametreleri kontrol edilmelidir.
- Elektrik enerjisinin depolanması için, batarya gruplarının hem tesisi için alan hem de bakım gereksinimleri olacaktır.
- Mikro şebekenin şebeke ile yeniden senkronizasyonu karmaşık bir süreçtir.

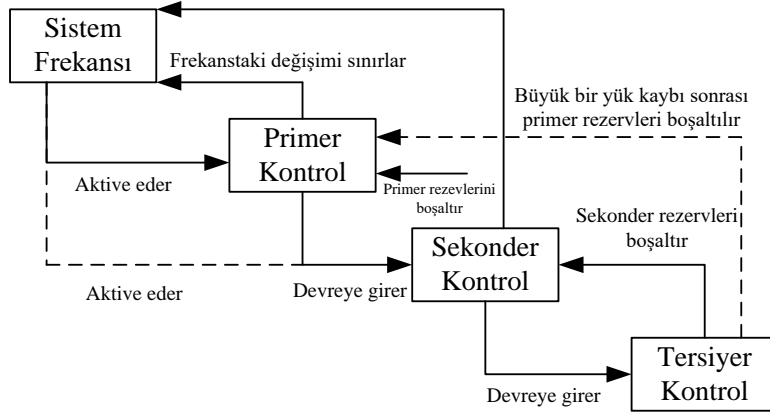
Bu çalışmada, tek bölge enterkonnekte güç sisteminde yük değişimine bağlı olarak frekansın dengede kalmasını sağlamak için PID kontrolör kullanılmış, kontrolörün kazançları yapay arı algoritması (YAK) yardımıyla bulunmuştur. Test sistemi olarak klasik sistem ve termal bir güç sistemi ile bağlı AC mikro şebeke incelenmiştir.

2. Yük Frekans Kontrolü

Enterkonnekte güç sistemi birbiriyle bağlantılı güç sistemlerinden oluşmaktadır. Güç sisteminin frekansı, sistemde çalışan senkron generatörlerin dönüş hızları anlamına gelmekte olup, güç sisteminin ürettiği elektrik ile yüklerden çekilen elektrik enerjisi birbirine eşit ise frekans 50 Hz değerindedir. Bu frekans değerine karşılık gelen bir hız değeri olup, örnek olarak termik santrallerde 50 Hz'e karşılık gelen hız değeri 300 d/dk' dir (Bircan, 2006). Yük-frekans kontrolü, elektrik güç sistemlerinde yük dengesinin bozulması sonucunda aktif güç dengesinin yeniden kurulmasını ve değişen sistem frekansını tekrar nominal değerine ayarlayan otomatik kontrol yöntemidir (Gözde, 2010).

2.1. Yük-Frekans Kontrolü Aşamaları

Güç sistemlerinde yük değişimi anında aktif güç dengesi bozulmakta ve sistem frekansında sapmalar meydana gelmektedir. Bu sapmaların kalıcı durum hatasına ve sistem dengesinin bozulmaması için yapılan yük-frekans kontrolü üç aşamada gerçekleştirilmekte olup kontrol diyagramı Şekil 1'de gösterilmiştir (Bircan, 2006).



Şekil 1. Yük Frekans Kontrol Aşamaları

2.1.1. Primer Kontrol

UCTE kriterlerine bağlı olarak, santraller belirli bir miktarda rezerv kapasitesi bulundurmalıdır. Örnek olarak hidroelektrik santraller kapasitelerinin %10'unu, termik santraller de kapasitelerinin %5'ini rezerv olarak bulundurmak zorundadır. Güç sisteminde aktif güç dengesinin sağlanamadığı durumda sistem frekansındaki değişmeyi durdurmak için türbin hız regülatörünün eğim karakteristiği oranında güç sisteminin rezervlerinin otomatik olarak devreye alınmasıdır. Bu kontrolde merkezi müdahale yoktur. Düşüm karakteristiğinin eğimi regülasyon sabiti R ile ifade edilmekte olup, sistem frekansındaki değişimi için türbin çıkış gücünün ne kadar değişmesi gerektiğini belirleyen değerdir ve eşitlik 1'de matematiksel olarak ifade edilmiştir (Bircan, 2006; Saadat, 1999).

$$R = \frac{f_2 - f_1}{P_{GN}} \quad (1)$$

Eşitlikteki;

f_2 : Yüksüz durumundaki frekans (Hz)

f_1 : Nominal güç çıkışındaki frekans (Hz)

P_{GN} : Jeneratör ünitesinin nominal çıkış gücü (MW) 'dir.

2.1.2. Sekonder Kontrol

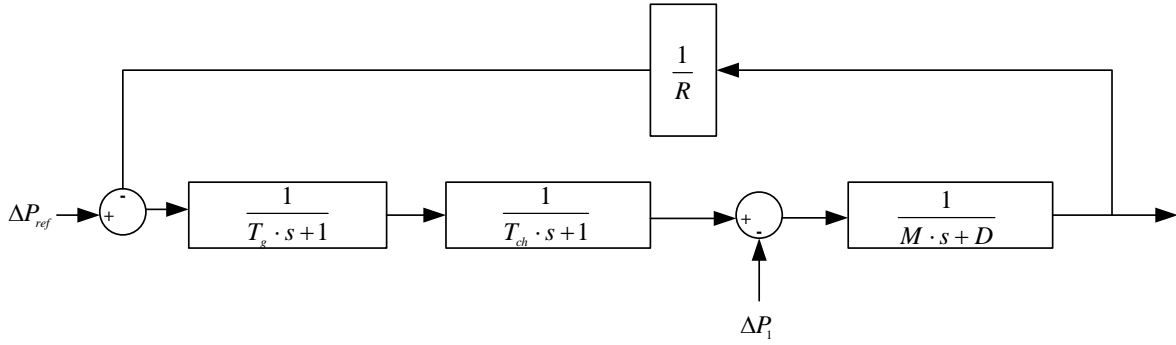
Bu kontrolde merkezi müdahale vardır. Frekansı nominal değerine getirmek için sekonder kontrol rezervlerini otomatik olarak devreye almaktadır. PI kontrol kullanılmaktadır, bu sebeple maksimum tepki 30 sn. içinde başlamakta ve maksimum 15 dakika içinde sistem dengeye getirilmektedir (Bircan, 2006; Pamuk, 2010; Saadat, 1999).

2.1.3. Tersiyer Kontrol

Tersiyer kontrol rezervleri, sekonder kontrole katılan ünitelerin çalışma koşullarının değiştirilmesine veya onların en ekonomik koşullarını sağlayacak şekilde dağıtılmasından sorumludur. Başka bir deyişle, farklı bir olayı çözmek için sekonder rezervi serbest hale getirmesidir. Tersiyer kontrol içinde merkezi müdahale vardır. Bu durumda tersiyer kontrol, 3-20 dk. içinde devreye girmektedir (Bircan, 2006; Pamuk, 2010; Saadat, 1999).

2.2. Tek Bölge Yükle-Frekans Kontrolü

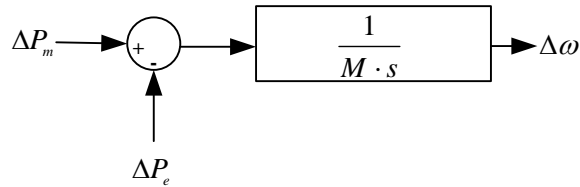
Tek bölge güç sisteminin incelenmesi için Şekil 2'deki model seçilmiştir. Bu model, generatör, yük ve hız regülatöründen oluşmaktadır. Yükle-frekans kontrolünü anlamak için bu elamanlardaki çalışma mantığını bilmek gerekmektedir (Pamuk, 2010; Saadat, 1999; Tiryaki & Gün).



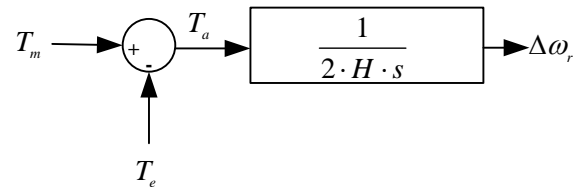
Şekil 2. Tek bölge sistemde yükle-frekans kontrolü blok diyagramı

2.2.1. Generatör Modeli

Generatör, iki zıt momente bağlı olarak dönen büyük bir küttür. Bu momentler; elektriksel moment ve mekanik momenttir. Mekanik momentle elektriksel moment birbirine eşit olduğunda dönme hızı sabit olmaktadır. Mekanik moment elektriksel momentten büyük olduğunda dönüş hızı artarken, tam tersi durumda dönüş hızı azalmaktadır. Bu durumlar güç sistemlerinde yükle sürekli değişken olduğundan tekrarlanmaktadır. Elektriksel ve mekanik güç arasındaki ilişki Şekil 3'de, moment ile hız arasındaki ilişki Şekil 4'de gösterilmiştir. Şekil 3 ve şekil 4'teki M ve H sırası ile makinanın açıl moment ve atalet sabiti olup ikisi arasında $M=2H$ ilişkisi vardır (Pamuk, 2010; Saadat, 1999; Tiryaki & Gün).



Şekil 3. Elektriksel ve Mekanik Güç Arasındaki İlişki



Şekil 4. Hız ve moment arasındaki ilişki

2.2.2. Yük Modeli

Güç sistemlerindeki motor yükleri frekansa bağımlı iken omik yükler frekanstan bağımsızdır. Frekansa bağılı olarak yükteki değişim eşitlik 2'de gösterildiği gibidir (Pamuk, 2010; Saadat, 1999; Tiryaki & Gün).

$$\Delta P_D = D \cdot \Delta \omega \quad (2)$$

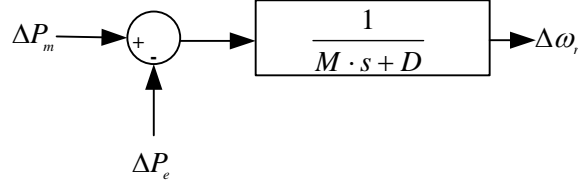
Eşitlikteki;

ΔP_D : Frekansa bağılı olarak değişen yük miktarı

D : yük sönüm sabiti

$\Delta \omega$: açısal hızdaki değişim

Yük modeline bağılı olarak generatör modeli Şekil 5'deki gibi yeniden oluşturabilir.

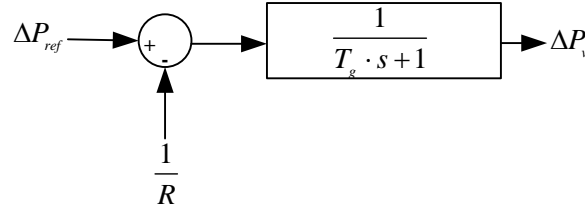


Şekil 5. Yük modeli blok diyagramı

2.2.3. Hız Regülatörü Modeli

Yük-frekans kontrolünde en önemli elaman hız-regülatördür. Yük değişimine bağılı olarak değişen frekans hız regülatör sistemi sayesinde nominal değerine getirilmektedir. Şekil 6'daki blok diyagramı hız regülatör sistemini temsil etmektedir. Blok diyagramdaki R; eşitlik 1'de verilen regülasyon sabitidir. T_g ise zaman sabiti olup, eşitlik 3'deki gibi ifade edilir. K_g ise türbindeki akışkan hızına, silindir şekline bağılı olan sabittir (Pamuk, 2010; Saadat, 1999; Tiryaki & Gün).

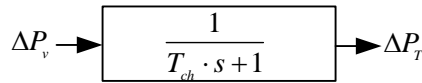
$$T_g = \frac{1}{K_g} \quad (3)$$



Şekil 6. Hız regülatörü blok diyagramı

2.2.4. Türbin Modeli

Buhar akışını kontrol etmek için buhar türbinlerinde valfler kullanılmaktadır. Bu valfin pozisyonu, buhar haznesi arasındaki ilişki T_{ch} zaman sabiti ile ilişkilendirilir ve Şekil 7'deki gibi ifade edilir (Pamuk, 2010; Saadat, 1999; Tiryaki & Gün).



Şekil 7. Türbin modeli

Yük değişimiyle frekanstaki ve güç sisteminde meydana gelen değişimleri sayısal bir örnekle daha net anlaşılabilir.

Örnek:

İki bölge 1000 MVA gücüne sahip enterkonnekte güç sistemi parametreleri Tablo 1'de verilmiştir. Güç sisteminin nominal frekans değeri 60 Hz'dir. Birinci bölgede 187.5 MW'lık ani yük değişimi sonrası frekanstaki değişim incelenmiştir (Glover, Sarma, & Overbye, 2012).

Tablo 1. Güç sistemine ait

Değişkenler	1. Bölge	2. Bölge
Hız regülasyon sabiti (R -Hz/MW-)	0.05	0.0625
Yük-sönüm sabiti (D-MW/Hz)	0.6	0.9
Atalet sabiti (H -sn-)	5	4
Bara gücü	1000	1000
Hız regülatörü sabiti (T _g -sn-)	0.25	0.3
Türbin zaman sabiti (T _t -sn-)	0.5	0.6

Çözüm:

$$\text{Per-unit cinsinden yük değişimi; } \Delta P_{L1} = \frac{187.5}{1000} = 0.1875 \text{ pu}$$

$$\text{Kalıcı durumdaki yük değişimine bağlı hız değişimi; } \Delta \omega_{SS} = \frac{-\Delta P_{L1}}{\left(\frac{1}{R1} + D1\right) + \left(\frac{1}{R2} + D2\right)} = -0.005 \text{ pu}$$

$$\text{Frekans değişimi; } \Delta f = (-0.005) * 60 = -0.3 \text{ Hz}$$

$$\text{Yeni frekans değeri } f^{yeni} = 60 - 0.3 = 59.7 \text{ Hz}$$

Mekanik güçteki değişim:

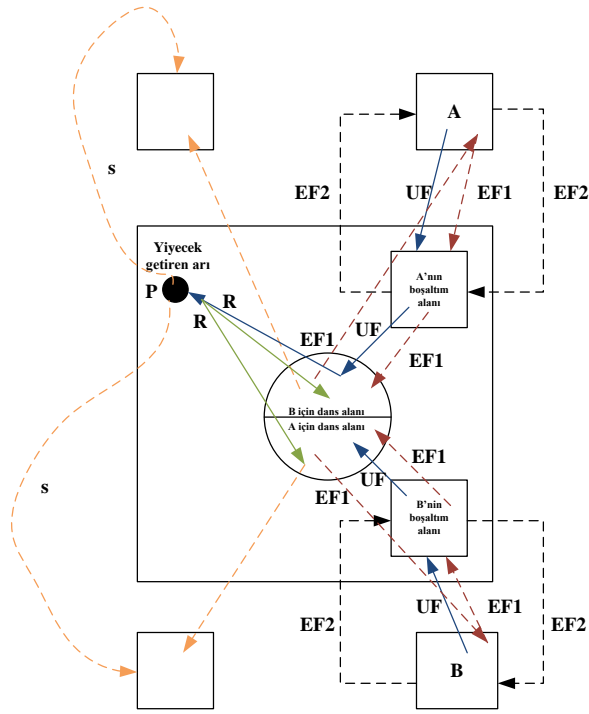
$$\Delta P_{m1} = \frac{-0.005}{0.05} = 0.1 \text{ pu ; 100 MW}$$

$$\Delta P_{m2} = \frac{-0.005}{0.0625} = 0.08 \text{ pu ; 80 MW}$$

3. Yapay Arı Kolonisi Algoritması

Yapay arı kolonisi algoritması, bal arısı sürülerinin kendine özgü davranışları ve besin ararken takip ettikleri yollardan esinlenerek oluşturulmuş sezgisel bir algoritmadır. Bu algoritma Derviş Karaboğa tarafından 2005 yılında literatüre kazandırılmıştır (Karaboga, 2005).

Kolonilerin yaşamlarını devam ettirmeleri için arılar belirli görevlere sahiptir. İşçi arılar, yeri belli olan yiyecek kovanlarına gidip, çiçek özlerini toplayıp bunları kovana boşaltmaktır. Gözcü arıların görevi ise bal kaynakları aramak ve bunu işçi arılara bildirmektir. İzci arılar ise çevrelerini dolaşmakta ve yeni bal kaynakları aramaktadır. Arıların yiyecek arama ve yiyeceklerini kovana getirirken davranışları Şekil 8'de gösterilmiştir (Akyol & Alataş, 2012; Küçükşille & Tokmak, 2011).



Şekil 8. Arıların yiyecek aramaları ve kovanlarına getirmeleri

Şekilde; A ve B'nin yiyecek kaynakları olarak farz edilmiş, başlangıçta arıların bu kaynakların yerini bilmeyen ve aramaya çalışan kaşif arıdır. Gözcü arı ise kaynakları öğrendikten sonra bu kaynaklara arıları yönlendirir.

Bu esaslar düşünülerek bu algoritmanın adımları şu şekilde sıralanabilir (BATBAT & ÖZTÜRK, 2016; Karaboga & Akay, 2009; Kaya);

- Başlangıç; yiyecek kaynaklarının oluşturulması
- Tekrarlama
- İşçi arıların yiyecek kaynağına bölgesine gitmesi ve yiyecek miktarının hesaplanması
- Gözcü arıların seçimindeki olasılıkların hesaplanması
- Gözcü arıların yiyecek kaynağı bölgesi seçmeleri
- Limit ve kaşif arı oluştuğunda kaynaktan ayrılma
- Çevrim sayısı kadar tekrarlama

Algoritmadaki adımlar optimizasyon da şu eşitliklerle ifade edilmektedir. Bal kaynaklarına ait ilk değerlerin atanmasında eşitlik 4'den yararlanır. Eşitlikteki j , üretilen kaynak sayısını i ise problemde kullanılacak olan parametre sayısını göstermektedir (Akyol & Alataş, 2012; Küçüksille & Tokmak, 2011).

$$X_{ij} = X_j^{min} + rand(0,1) * (X_j^{max} - X_j^{min}) \quad (4)$$

İşçi arıların yeni kaynak bölgesini araştırması ise eşitlik 5'deki gibi ifade edilir. Eşitlikteki ϕ_{ij} (-1,1) aralığında değer almaktadır.

$$V_{ij} = X_{ij} + \phi_{ij} * (X_{ij} - X_{kj}) \quad (5)$$

Hesaplama sonucunda V_{ij} 'nin sınırların dışına çıkma ihtimaline karşın; farklı ötelemeler yapılır. Bu ötelemeler eşitlik 6'da verilmiştir.

$$V_{ij} = \begin{cases} X_j^{min} & V_{ij} < X_j^{min} \\ V_{ij} & X_j^{min} < V_{ij} < X_j^{max} \\ X_j^{max} & V_{ij} > X_j^{max} \end{cases} \quad (6)$$

Problem için çözüm değeri f_i olmak üzere, problem için çözümün uygunluk değeri (*fitness*, f_i) eşitlik 7'deki gibi ifade edilir.

$$fitness = \begin{cases} \frac{1}{1+f_i} & f_i \geq 0 \\ 1 + abs(f_i) & f_i < 0 \end{cases} \quad (7)$$

Gözcü arı safhasında seçim için kullanılacak olasılık değeri eşitlik 8’de ifade edilir.

$$p_i = \frac{fitness_i}{\sum_{i=1}^{SN} fitness_i} \quad (8)$$

Burada i . kaynağın kalitesi $fitness_i$ ve SN görevli arı sayısını belirtmektedir.

YAK algoritması ile ilgili şu temel özellikler ifade edilebilir;

- Basit ve esnek bir yapıya sahiptir.
- Benzetim çalışmalarında kullanılan sistem gerçek yiyecek kaynaklarını arayan arılara çok yakındır.
- Algoritma doğası gereği sürü zekasına dayalıdır.
- Özellikle nümerik problemler için çözüm üretirken eklentiler yapılarak ayrık problemlere de çözüm verebilir.
- Kontrol parametre sayısı oldukça azdır.
- Yerel arama ve küresel arama yapabilme kabiliyeti vardır.

3.1. Kaotik Harita Eklenmiş Yapay Arı Kolonisi Algoritması

YAK algoritmasının başlangıç; yiyecek kaynaklarının oluşturulmasında rasgele tabanlı bir seçim söz konusu olduğu eşitlik 4’te gösterilmiştir. Rasgele sayı dizilerinin yerini alabilen kaotik sayı dizileri ilk uzayın oluşturulmasında kullanılarak algoritma geliştirilmiştir. Bu şekilde YAK algoritmasının global yakınsama özelliğinin artırılması ve lokal çözümden takılıp kalması önlenmeye çalışılmıştır.

Yiyecek kaynaklarının oluşturulmasında kullanılacak kaotik sayı üreten harita Çebişev haritasıdır (ÖZYÖN, YAŞAR, & TEMURTAŞ; G. YILDIRIM, AYDIN, ALLİ, & TATAR). Bu kaotik harita eşitlik 9’da temsil edilmektedir.

$$X_{n+1} = \cos(k \cos^{-1} X_n) \quad (9)$$

Eşitlik 9’da iterasyon sayısını n ve n . kaotik sayıyı X_n temsil etmektedir. Eşitlik 4 kaotik haritalar ile tekrar düzenlenirse eşitlik 10 elde edilmiş olur.

$$X_{ij} = X_j^{min} + kaotik\ dizi * (X_j^{max} - X_j^{min}) \quad (10)$$

Eşitlik 10’da belirtilen kaotik dizi Çebişev haritasından elde edilecek olan kaotik haritadır.

4. Benzetim Çalışmaları ve Sonuçları

Bu çalışmada iki farklı test sistemi incelenmiştir. Bunlardan bir tanesi klasik tek bölgeci sistem olup ikinci test sistemi ise Mikro şebeke içeren sistemdir.

Tablo 2. Benzetim Çalışmalarında Kullanılan Güç Sistemi Parametreleri

Katsayılar	Değerleri	Katsayılar	Değerleri	Katsayılar	Değerleri
K_g	1.0	K_p	120	K_{fc}	0.01
T_g	0.08	R	2.4	T_{fc}	4
T_t	0.3	K_{wtg}	1.0	K_{deg}	0.003
T_r	10	T_{wtg}	1.5	T_{deg}	2
K_r	0.5	K_{ae}	1.0	K_{bess}	-0.003
T_p	20	T_{ae}	0.08	T_{bess}	0.1

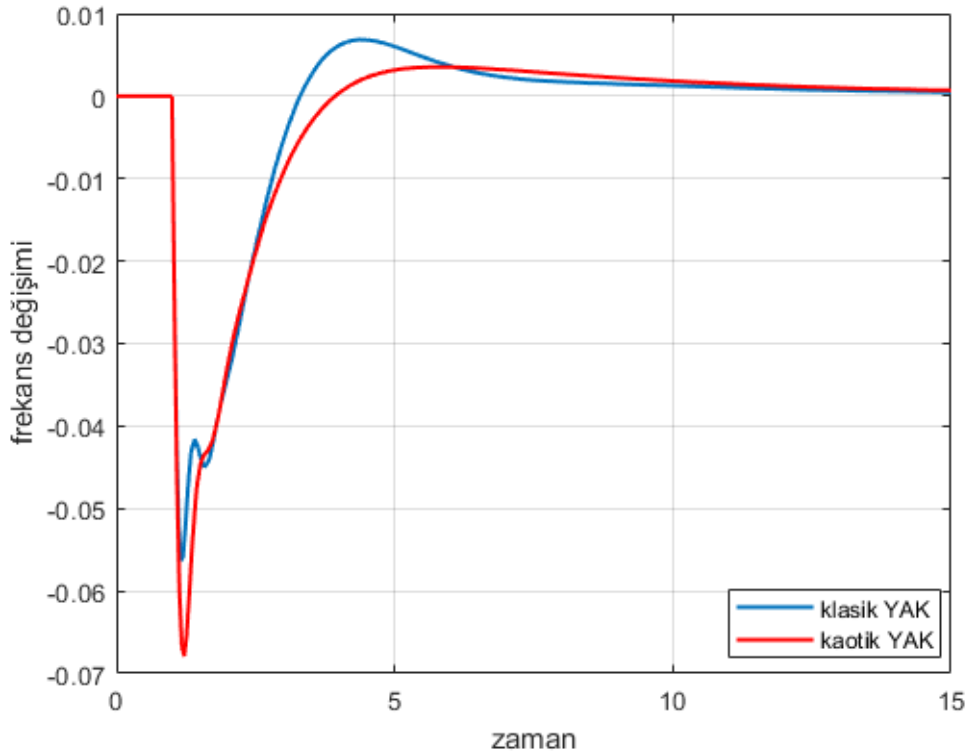
4.3. Test Sistemi 1

Çalışmada kullanılan tek bölge güç sisteminin parametreleri Tablo 2'de verilmiş olup güç sisteminin sadece klasik termik santral kısmı seçilmiştir. Güç sisteminde yük-frekans kontrolünü gerçekleştirmede PID kontrol kullanılmıştır. Kontrolün parametrelerini belirlemede YAK ve kaotik harita eklenmiş YAK kullanılmıştır. Algoritmalar sonucunda bulunan kontrolün kazanç değerleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Kontrolün Kazanç Değerleri

Kazanç	Klasik YAK	Kaotik YAK
Kp	2.6888	3
Ki	2.9639	2.2911
Kd	1.4447	1.0288

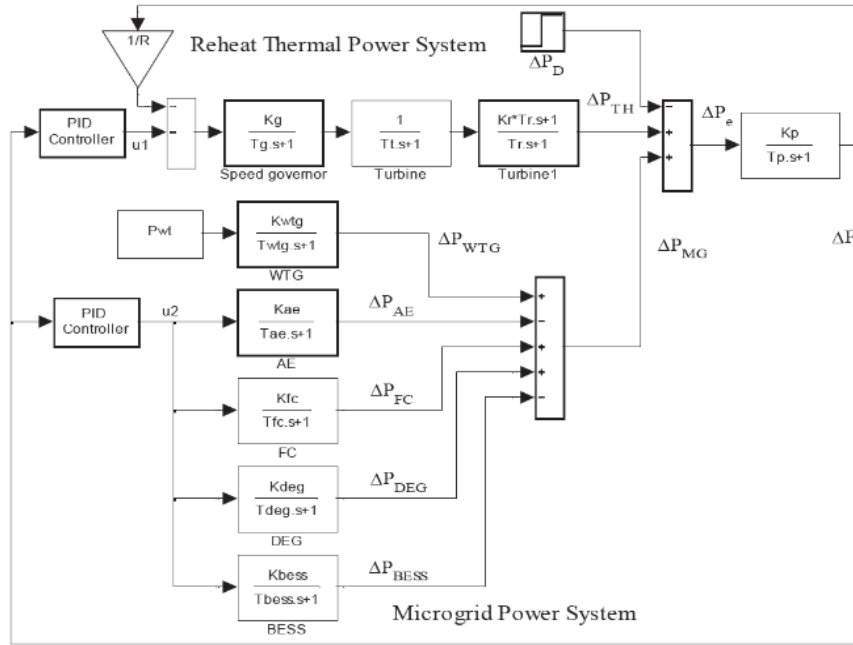
Bu değerlere göre frekansın 1.saniyedeki ani yük değişimine cevabı Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Frekans değişimi

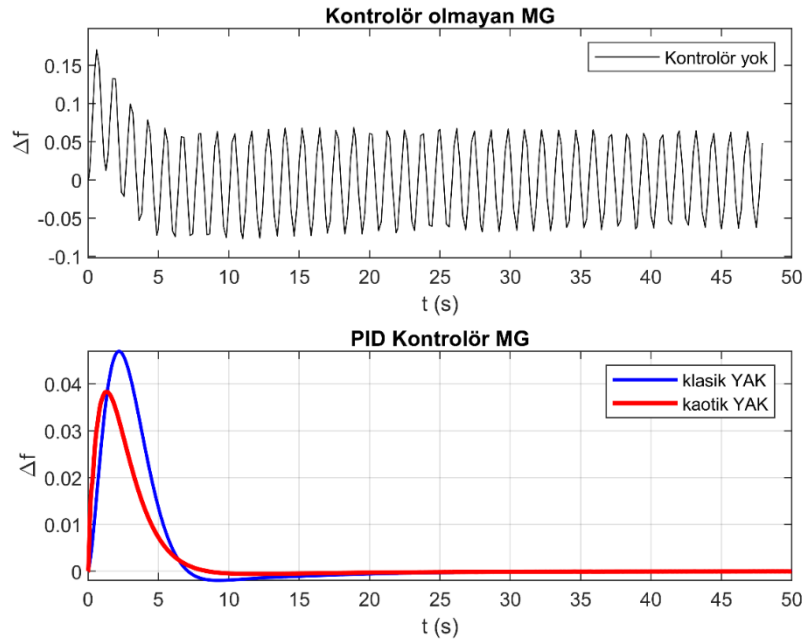
4.4. Test Sistemi 2

AC mikro şebekenin termal bir güç sistemi içeren bir test sistemi benzetim çalışmaları yapılmıştır. Mikro şebeke içinde rüzgar türbin jeneratörü (wind turbine generator, WTG), elektroliz su jeneratörü (aqua electrolyzer, AE), yakıt hücresi (fuel cell, FC), dizel jeneratör (diesel engine generator, DEG) batarya enerji depolama sistemi (battery energy storage system, BESS) vardır. Ayrıntılı model Şekil 10'da gösterilmektedir (Lal & Barisal, 2017).



Şekil 10. Mikro Şebeke içeren Güç Sistemi

Bu test sistemi sıfırınıcı saniyede 0.01 birim yük değişim dikkate alınarak benzetimi yapılmıştır. Sistemde mevcut rüzgar gücündeki ortalama değişim (P_{wt}) 0.5 olarak alınmıştır.



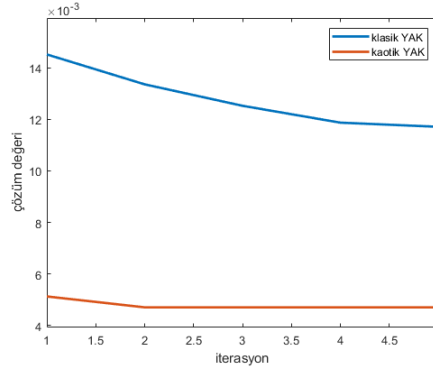
Şekil 11. Mikro Şebeke içeren Güç Sistemi için Benzetim Çalışmaları

Şekil 11'de sistemde MG için kontrolör içeren ve içermeyen sistemin benzetim çalışması yapılmıştır. Kontrolör olmayan MG için sistem kararlı hale gelememiştir ve salınımlar devam etmektedir. İkinci durumda PID kontrolör ile sistemin benzetim çalışması yapıldığında yaklaşık 10 sn içinde sistem kararlı hale gelmektedir. Önerilen YAK algoritması ile elde edilen PID değerleri sistemi kısa zamanda salınımlar yapmadan kararlı hale getirdiği gözükmemektedir. Ayrıca önerilen algoritmaya kaotik haritalar eklenerek benzetim çalışmaları tekrarlanmıştır. Geliştirilen YAK algoritmasının daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Tablo 4'te Klasik ve Kaotik YAK için PID kontrolün kazanç değerleri verilmiştir.

Tablo 4. Klasik ve Kaotik YAK için PID kontrolün kazanç değerleri

Sistem	Kontrolör ve Optimizasyon	
	Klasik YAK ile ayarlanan PID	Kaotik YAK ile ayarlanan PID
Termik Santral	$K_P = 3$	$K_P = 2.760$
	$K_I = 1.538$	$K_I = 1.2272$
	$K_D = 1.317$	$K_D = 1.4386$
Mikro Şebeke	$K_P = 2.937$	$K_P = 2.8393$
	$K_I = 1.973$	$K_I = 3$
	$K_D = 2.684$	$K_D = 0$

Klasik YAK algoritması ile kaotik YAK algoritmasının iterasyonlar sonucu en iyi çözüm değerini bulma süreci Şekil 12’de verilmiştir.

**Şekil 12.** Klasik YAK ve Kaotik YAK için çözüm değerinin iterasyonla değişimi

5. Sonuçlar

Son yıllarda güç sistemlerinde küçük ölçekli enerji üreten birimlerin sayısı hızla artmaktadır. Klasik sisteme ek olarak gelen bu sistemlerin şebekeye olan etkilerini incelemek önem arz etmektedir. Bu çalışmada da önerilen YAK algoritması ile AC sisteme bağlı bir Mikro şebekenin sistem frekansına etkisi incelenmiştir. İlk durumda kontrolör olmadan sistemin salınımlar yaparak dengede kalamadığı gözlemlenmiştir. Önerilen algoritmayla ayarlanan PID kontrolör ile sistemin kararlı hale kısa sürede geldiği tespit edilmiştir. Burada yapay arı kolonisi algoritmasının hem klasik hem de kaotik harita eklenmiş hali kullanılmıştır. Kaotik harita ile geliştirilen algoritmanın daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Bu durum rastgele oluşturulan arama uzayına göre kaotik haritalar ile elde edilen arama uzayının en iyiyi bulma becerisinin daha fazla olduğunu göstermektedir. Gelecekteki çalışmalarda sisteme sanal atalet eklenerek sistem frekansına olan etkisinin incelenmesi hedeflenmektedir.

Teşekkür / Bilgilendirme

Bu çalışma “2219 Yurtdışı Doktora Sonrası Araştırma Bursu Programı” kapsamında TÜBİTAK tarafından (Başvuru Numarası: 1059B191300593) ve “Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince” (Proje Numarası: 2012 / 112) desteklenmiştir.

Referanslar

Abdel-Magid, Y. L., & Abido, M. A. (2003). *AGC tuning of interconnected reheat thermal systems with particle swarm optimization*. Paper presented at the 10th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems, 2003. ICECS 2003. Proceedings of the 2003.

Akyol, S., & Alataş, B. (2012). Güncel Sürü Zekası Optimizasyon Algoritmaları. *Neşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1(1).

- BATBAT, T., & ÖZTÜRK, C. (2016). Ayırık Yapay Arı Kolonisi Algoritması ile Protein Yapısı Tahmini. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 9(3), 263.
- Bircan, M. (2006). Türkiye elektrik sisteminin UCTE bağlantısı kapsamında frekans kontrolü kalitesinin UCTE standartlarına çıkarılması. *Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Türkiye 10. Enerji Kongresi*, 265-273.
- Cam, E., & Kocaarslan, I. (2002). TEK BÖLGELİ GÜÇ SİSTEMLERİNDE BULANIK MANTIK İLE YÜK FREKANS KONTRÜLÜ. *Teknoloji*, 5.
- Chang, C., & Fu, W. (1997). Area load frequency control using fuzzy gain scheduling of PI controllers. *Electric Power Systems Research*, 42(2), 145-152.
- Dash, S. (2020). Load Frequency Control of Solar PV and Solar Thermal Integrated Micro grid using Narma-L2 Controller. *arXiv preprint arXiv:2004.05776*.
- Du, X., & Li, P. (2006). Fuzzy logic control optimal realization using GA for multi-area AGC systems. *International Journal of Information Technology*, 12(7), 63-72.
- Glover, J. D., Sarma, M. S., & Overbye, T. (2012). *Power system analysis & design, SI version*: Cengage Learning.
- Gözde, H. (2010). *Güç Sistemlerinde Yapay Arı Kolonisi Algoritması Yöntemi ile Yük-Frekans Kontrolü Optimizasyonu*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı,
- Gözde, H., Kocaarslan, İ., Taplamacıoğlu, M., & Çam, E. (2008). İki Bölgeli Güç Sisteminde Parçacık Sürüsü Algoritması İle Yük-Frekans Kontrolü Optimizasyonu. *ELECO'08 Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, 212-216.
- Karaboga, D. (2005). *An idea based on honey bee swarm for numerical optimization*. Retrieved from
- Karaboga, D., & Akay, B. (2009). A comparative study of artificial bee colony algorithm. *Applied mathematics and computation*, 214(1), 108-132.
- Kaya, B. YAPAY ARI KOLONİSİ ALGORİTMASI İLE YAPILAN GELİŞTİRMELER VE SONUÇLARI. *Verimlilik Dergisi*(1), 99-115.
- Kayalvizhi, S., & Kumar, D. V. (2017). Load frequency control of an isolated micro grid using fuzzy adaptive model predictive control. *IEEE Access*, 5, 16241-16251.
- Khalil, A., Rajab, Z., Alfergani, A., & Mohamed, O. (2017). The impact of the time delay on the load frequency control system in microgrid with plug-in-electric vehicles. *Sustainable cities and society*, 35, 365-377.
- Khooban, M.-H. (2017). Secondary load frequency control of time-delay stand-alone microgrids with electric vehicles. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 65(9), 7416-7422.
- Kiliç, H., Khaki, B., Gumuş, B., Yılmaz, M., & Asker, M. E. (2018). *Stability Analysis of Islanded Microgrid with EVs*. Paper presented at the 2018 Smart Grid Conference (SGC).
- Küçüksille, E. U., & Tokmak, M. (2011). Yapay Arı Kolonisi Algoritması Kullanarak Otomatik Ders Çizelgeleme. *Journal of Natural & Applied Sciences*, 15(3).
- Lal, D. K., & Barisal, A. K. (2017). *Load frequency control of AC microgrid interconnected thermal power system*. Paper presented at the IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering.
- ÖZTÜRK, D., ÇELİK, H., & ÖZDEMİR, M. T. (2017). Load-frequency optimization with heuristic techniques in a autonomous hybrid AC microgrid. *International Journal of Energy and Smart Grid*, 2(1), 2-16.
- ÖZYÖN, S., YAŞAR, C., & TEMURTAŞ, H. Test Fonksiyonları için Kaos Tabanlı Yerçekimsel Arama Algoritmaları (CbGSA-X). *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(3), 1771-1793.
- Pamuk, N. (2010). *Frequency control of power plant and making an application case for Adapazari/Gebze natural gas combined cycle power plant*. Paper presented at the National Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering.

Rajesh, K., Dash, S., & Rajagopal, R. (2020). Load Frequency Control of Microgrid: A Technical Review. In *Green Buildings and Sustainable Engineering* (pp. 115-138): Springer.

Saadat, H. (1999). *Power system analysis* (Vol. 2): McGraw-Hill.

Sahu, P. C., Mishra, S., Prusty, R. C., & Panda, S. (2018). Improved-salp swarm optimized type-II fuzzy controller in load frequency control of multi area islanded AC microgrid. *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 16, 380-392.

Tiryaki, H., & Gün, A. Modern Optimizasyon Yöntemleri ile Bir Hidroelektrik Santralde Frekans Kontrolü. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 11(1), 266-274.

Xu, Y., Li, C., Wang, Z., Zhang, N., & Peng, B. (2018). Load frequency control of a novel renewable energy integrated micro-grid containing pumped hydropower energy storage. *IEEE Access*, 6, 29067-29077.

YALÇIN, E., Ertuğrul, Ç., VARDAR, T., & Lüy, M. (2010). PID Kontrolör ile İki Bölge Güç Sistemlerinde Yük Frekans Kontrolünün İncelenmesi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 5(2), 7-11.

Yildirim, B., & Khooban, M. H. (2020). Enhancing stability region of time-delayed smart power grids by non-integer controllers. *International Journal of Energy Research*.

YILDIRIM, G., AYDIN, G., ALLI, H., & TATAR, Y. Hadoop ile Kaos Temelli FCW Optimizasyon Algoritmasının Analizi An Analysis of Chaos-Based the FCW Optimization Algorithm by Hadoop.