

İzole Bir AA Mikroşebekede Lig Şampiyonası Algoritması İle Optimum Otomatik Üretim Kontrolü

Mahmut Temel ÖZDEMİR¹, Burak YILDIRIM², Harun GÜLAN³, Muhsin Tunay GENÇOĞLU⁴, Mehmet CEBECİ⁵

^{1,4,5} Fırat Üniversitesi Müh. Fak. Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Elazığ

² Bingöl Üniversitesi Teknik Bilimler MYO, Bingöl

³ Tunceli Üniversitesi Müh. Fak. Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Tunceli
mto@firat.edu.tr

(Geliş/Received:29.08.2016; Kabul/Accepted:26.01.2017)

Özet

Modern güç sistemlerinde, ciddi bozulmaları takiben üretim-yük dengesinin koruma yeteneğini artırmak için optimum kazançlara sahip bir kontrolöre ihtiyaç vardır. Mikro şebeke sayısının artması nedeniyle bu sorun bugün daha belirgin bir hale gelmiştir. Mikro şebekeler çoğunlukla elektrik gücü üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarını kullandığı için üretim miktarları doğal olarak sürekli değişmektedir. Bu çalışmada AA mikro şebeke sistemlerinde frekans kontrolü için PID kontrolör kullanılmıştır. Kontrolörlerin kazançlarının optimal değerlerinin belirlenmesinde yeni bir sezgisel yöntem olan LŞA önerilmiştir. ITSE maliyet fonksiyonuna göre LŞA, PSO ve ABC ile kontrolör kazançları belirlenmiştir. Bu üç yöntemle elde edilen kazanç değerleri kullanılarak sistemin zaman domainindeki simülasyonları yapılmış ve performansları karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mikroşebeke, Lig Şampiyonası Algoritması, Otomatik Üretim Kontrolü, İkincil Frekans Kontrolü.

Systems Automatic Generation Control in an AC Isolated Microgrid using the League Championship

Abstract

In modern power systems, a controller with optimal gains is needed in order to increase the ability of the system to maintain production-load balance followed by serious failures. This problem has become more prominent due to the increasing number of MGs. Since micro grids often use renewable energy sources to generate electric power, the amount of power generated varies continuously. In this study, PID controller was used for frequency control in AC MG systems. League Championship Algorithm, which is a new heuristic method, is proposed to determine optimal values of the controller gains. Simulations of the system were done on the time domain by using gains obtained by LCA method. The results obtained by the proposed method are compared with the results of PSO and ABC methods that are widely known and used by the earlier studies in the literature. The results were taken in accordance with ITSE. Considering the results obtained, the proposed method has a better performance in terms of maximum overshoot and settlement time values compared to other methods.

Keywords: Microgrid, League Championship Algorithm, Automatic Generation Control Secondary Frequency Control

1. Giriş

Elektriğe olan ihtiyacın artması ve güç sistemlerinin daha kompleks hale gelmesi ve belirsizliği, geleneksel olmayan üretim kaynaklarının güç sistemlerine dahil olmasına neden olmuştur. Yenilenebilir enerji kaynakları (RES) çoğunlukla modern bir güç sisteminde alternatif üretim birimi olarak kullanılır. RES'lerin artan penetrasyonu birçok avantaja sahiptir. Bununla birlikte, bu kaynakların geleneksel üretim birimleri ile beraber veya tek

başına kullanıldıklarında, kararlı çalışıp çalışmayacakları gibi yeni problemler de doğmuştur. RES'lerin neden olduğu bazı teknik sorunlar; RES'lerin hem off grid hem de on grid çalışması için uygun kontrol tasarımı, sistem geriliminin ve frekansının düzenlenmesine RES'lerin katkısı ve RES'lerin korunması şeklinde sıralanabilir [1]. Bu kaynakların kullanımı birçok standartları da beraberinde getirmiştir. Bunun sonucu olarak mikro şebeke fikri, ilk kez 1998 yılında Elektrikli Güvenilirlik Teknoloji Çözümleri Konsorsiyumu (CERTS)

tarafından ortaya atılmıştır. CERTS, hem güç hem de ısı sağlayan, tek bir sistem olarak çalışan, yük ve mikro kaynakların toplamı şeklinde bir mikro şebeke tanıtmıştır. Mikro kaynakların sayısının fazlalığı ve bu kaynakların birleştirilmiş tek bir sistem olarak çalışmasını sağlamak için, bu sistem elektronik tabanlı olmak zorundadır [2, 3, 4].

Mikro şebeke kavramının ortaya çıkması, geleneksel güç sistemlerinin karşılaştığı ekonomik ve çevresel sorunların artmasına dayanır. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanan mikro şebekeler, küresel ısınmada azalma ve çevresel kısıtlamaları ortadan kaldırmadaki yetenekleri sayesinde güç endüstrisinde hızla yayılmaktadır [4]. Mikro şebekelerde ana güç kaynakları tüketicilere yakın yerlerde dağıtım hatlarına bağlı olarak çalışırlar. Bu kaynaklar, dağıtılmış üretim (DG) şeklinde elektrik şebekesine entegre edilmiş olan küçük üretim birimleridir. 1990'lı yılların sonlarında, dağıtılmış üretim ile ilgili temel konular Büyük Elektrik Sistemleri Uluslararası Konseyi - International Council on Large Electric Systems (CIGRE)'nin çalışma grupları tarafından incelenmiştir. Dağıtılmış üretim kaynakları, dizel motor jeneratörleri, mikro türbinler, kojenerasyon tesisleri, rüzgâr türbin jeneratörleri, fotovoltaiik paneller, yakıt hücreleri, pistonlu motorlar ve enerji depolama sistemleridir [5].

Mikro şebekeler, düşük gerilim ve orta gerilim seviyelerinde dağıtım şebekelerine yerleştirilir. Dağıtım seviyesinde bağlanacak olan çok sayıdaki mikro kaynak, beraberinde yeni birçok zorluğu da getirecektir. Bu zorlukların bazılarını şu şekilde sıralayabiliriz; sistem kararlılığı, güç kalitesi ve AG/OG seviyelerinde gelişmiş kontrol teknikleri uygulanarak çözülmesi gereken şebeke işletimi. Diğer bir deyişle, dağıtım şebekelerindeki gücün artık tek yönlü değil iki yönlü olması söz konusu olacaktır ve sonuç olarak pasif bir rolden aktif bir role geçilecektir [4, 5]. Mevcut güç sistemleri generatör ataleti tarafından sağlanan depolanmış bir enerjiye sahiptir. Sistem üzerine yeni bir yük geldiği zaman ilk enerji dengelemesi sistemin ataleti tarafından sağlanır. Ada modunda işletilmek için tasarlanan mikro kaynakların birleşiminden oluşan bir sistem, başlangıç enerji dengesini sağlamak için çeşitli depolama sistemlerine sahip olmak zorundadır. Yakıt hücreleri ve mikrotürbinler gibi bazı mikro kaynakların büyük zaman sabitlerinden (10

sn'den 200 sn'ye kadar) dolayı sistemde meydana gelen bozucu etkilerini ve önemli yük değişikliklerini dengelemek için gerekli olan güç, depolama aygıtları tarafından karşılanmak zorundadır. Bu kaynaklar ani sistem değişiklikleri ile başa çıkmak için kontrol edilebilir AA gerilim kaynakları gibi hareket ederler. Gerilim kaynağı gibi hareket etmesine rağmen bu aygıtlar fiziksel sınırlamalara sahiptirler ve bu sebepten ötürü depolayabilecekleri enerji miktarları sınırlıdır. Depolama aygıtı olarak kullanılan birçok yapı mevcuttur. Bunların öncelikli olanları ise bataryalar, volan ve ultra kapasitörlerdir [5].

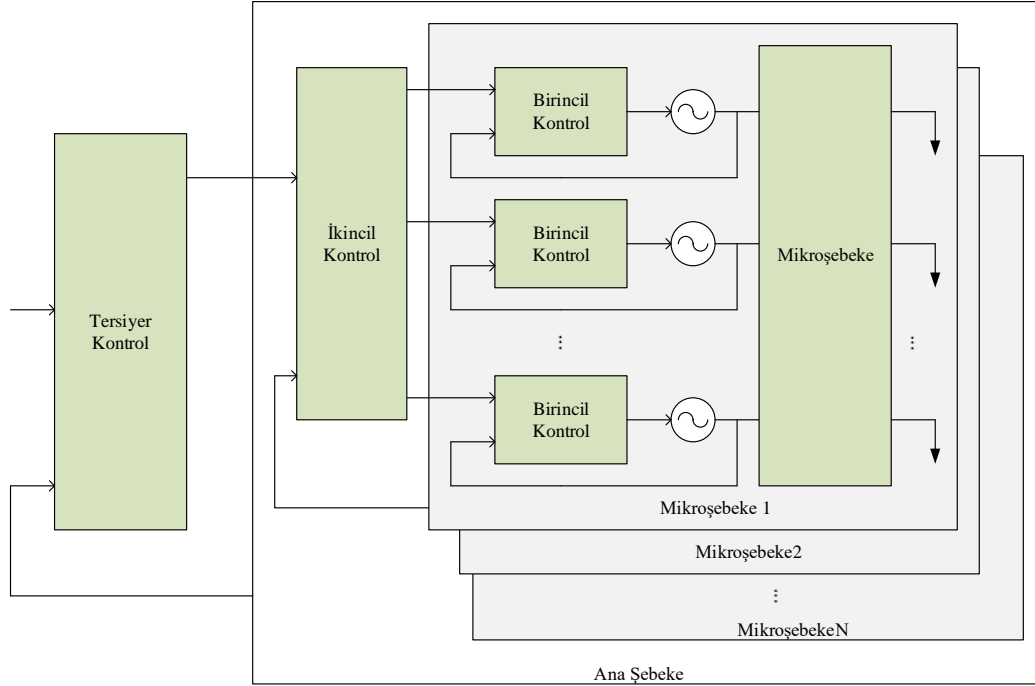
Bir güç sisteminin kontrol mimarisi ile ilgili olarak iki farklı yaklaşım tanımlanabilir. Bunlar; merkezi ve merkezi olmayan kontrol yöntemleridir. Tam merkezi kontrol yöntemi, verilerin bu işlem için tahsis edilmiş bir merkezi kontrolde toplanması fikrine dayanır. Bu merkezi kontrol gerekli olan tüm hesaplamaları yapar. Ayrıca tek bir noktada tüm üniteler için kontrol hareketlerine karar verir. Bu kontrol yönteminde, kontrol edilebilen üniteler ve merkezi kontrolör arasında yoğun bir iletişim gereklidir. Merkezi olmayan kontrolde ise her birim kendine ait yerel kontrolör tarafından kontrol edilir. Bu yerel kontrolörler sadece yerel bilgiler alırlar. Bu kontrolörler, sistemin diğer kontrol hareketleri ve sistemin genelindeki değişkenler hakkında bilgiye sahip değildirler [6, 7, 8]. Tam merkezi ve tam merkezi olmayan kontrol yöntemleri arasındaki uyum, üç kontrol seviyesinden oluşan hiyerarşik bir kontrol düzeni ile elde edilebilir. Bunlar; birincil seviye kontrol, ikincil seviye kontrol ve üçüncül seviye kontroldür [8].

Mikro şebekelerin genel olarak üç farklı kontrol yöntemi mevcuttur. Merkezi kontrol yönteminde, mikro şebeke sisteminin parametreleri ve yerel yükler, merkezi bir kontrol ünitesi tarafından kontrol edilir. Bu yöntemde, mikro şebekedeki dağıtılmış üretimler ve yükler hakkındaki tüm bilgiler merkezi bir birim tarafından toplanır ve sonrasında yükler ve dağıtılmış üretimler için kararlar verilir. Bu yöntemdeki kontrol döngüsünde ölçme ve haberleşme nedeni ile bilgilerde bir zaman gecikmesi mevcuttur, bu da büyüklüğüne bağlı olarak önemli bir kısıtlamadır. Diğer bir yöntem tek temsilci yöntemidir. Bu yöntemde, kontrol edilebilir büyük bir dağıtılmış üretim yardımı ile mikro şebeke sisteminin yerel yükleri ve sistem

Mikroşebeke, dağıtım sistemlerinin bir parçasıdır. Bunlar fiderler ve yüklerin toplamı ile radyal fiderlerin bir grubunu içerir. Mikroşebekelerdeki yükler hassas/kritik olan ve hassas/kritik olmayan olarak farklı fiderlerden beslenirler. Mikroşebekede, hassas olmayan yüklerin beslendiği fiderler acil bir durumda veya ciddi problem durumunda kapatılabilir iken, hassas yüklerin beslendiği fiderler daima bir veya birden fazla mikro kaynak tarafından enerji sağlayacak şekilde dizayn edilirler. Bu radyal sistem bir ayırıcı aygıt aracılığı ile dağıtım sistemine bağlanır. Bu ayırıcı aygıt genellikle ortak bağlantı noktası (PCC) olarak adlandırılan bir statik anahtardır (SS). Statik anahtar bakım, arıza ya da bir acil durum meydana geldiği zaman mikro şebekeyi şebekeden ayırma, yani adalanma (islanding) yeteneğine sahiptir. Fiderlerin her birisinde bir kesici ve güç akış kontrolörü bulunmaktadır. Devre kesicisi, mikro şebekenin gerilimi ve frekansında meydana gelen bozulmaların etkilerini önlemek için bağlı bulunduğu fiderin enerjisini kesmek için kullanılır.

2.1. AA Mikroşebeke Kontrol Döngüleri

Geleneksel güç sistemlerinde olduğu gibi



Şekil 2. Mikroşebeke Kontrol Döngüleri

mikroşebekelerde de hiyerarşik kontrol yapısı mevcuttur. Bu yapının tepesinde mikro şebeke merkezi kontrol birimi (MGCC) bulunur. MGCC, ekonomik ve teknik fonksiyonlar aracılığıyla mikro şebekenin işletilmesini etkin bir şekilde sağlamaktadır. İkinci kontrol düzeyinde yük kontrolörler (LC) ve mikro kaynak kontrolörleri (MC), mikro şebeke işletimini yöneten MGCC ile bilgi alışverişi yapar. MC, mikro kaynakları ve enerji depolama sistemlerini kontrol eder. Son olarak, kontrol edilebilen yükler, yük kontrolörleri (LC) tarafından kontrol edilir. Hassas yükleri bir süre besleyebilecek şekilde yeterince enerji depolama kapasitesine sahip enerji, (kondansatör depolama sistemleri (ECSS) ya da dizel jeneratörler gibi yerel güç kaynakları) hassas yüklerin bulunduğu besleyiciler için elektrik kesintilerini önlemede gereklidir.

Mikro kaynakları ve depolama aygıtlarını AA mikro şebekeye bağlamak için güç elektroniği devreleri kullanılır. Bu devre tipleri kaynak ya da depolama birimine bağlı olarak AC/AC, DC/AC ve AC/DC/AC güç elektroniği cihazları şeklindedir. Mikro şebeke elemanları ağırlıklı olarak güç elektroniği ara yüzüne sahip olduğundan, mikro şebeke kontrolü, inverter kontrolüne dayanır [4, 5].

Mikro şebekeler geleneksel güç sistemleri gibi, coğrafik olarak geniş olmak zorunda değildir. Yine de mikro şebekeler Şekil 2’de gösterilen kontrol hiyerarşisinden yararlanırlar. Bunun nedeni; sıkı performans gereksinimleri ve çok sayıda kontrol edilebilir kaynak barındırmasıdır [12-15]. Yerel kontrol ya da iç kontrol olarak bilinen birincil kontrol, hızlı yanıtı sahip kontrol hiyerarşisinde ilk düzeydir. Bu kontrol, sadece yerel ölçümlere dayalıdır ve hiçbir iletişim gerektirmez. Yerel ölçümler, ada belirleme, çıkış kontrolü ve güç paylaşım (ve denge) kontrolü üzerine güven ve bunların hız gereksinimleri bu kategoriye dâhil edilir [16-18].

Birincil kontrol yapısı iki ana kategoriye ayrılabilir: inverter çıkış kontrolü ve güç paylaşımı kontrolü. Güç paylaşımı kontrolü de iki kısma ayrılabilir. Bunlar da Düşüş (droop) Tabanlı metotlar ve Düşüş Tabanlı Olmayan metotlardır. Ayrıca Mikro Şebeke Enerji Yönetim Sistemi olarak adlandırılan ikincil kontrol, ya şebekeye bağlı ya da tek başına çalışan mikro şebekelerde güvenilir ve ekonomik bir çalışma için gereklidir. İzole mikro şebekelerde bunun sağlanması, özellikle yüksek değişken enerji kaynaklarının varlığı nedeniyle zordur. Burada yük ve sevk edilebilir olmayan üretimlerin ani değişikliklerini takip etmek için, birim gönderim komutunun güncelleme oranı yeterince yüksek olmalıdır. Primer kontrol eylemi tarafından üretilen kalıcı gerilim ve frekans sapmaları da ikincil kontrol tarafından restore edilmiştir. Mikro şebekenin gönderim ve birim taahhüdünü belirlemek amacıyla, üç ana seçenek belirlenmiştir. Bunlar; gerçek zamanlı optimizasyon, uzman sistemler ve merkezi olmayan hiyerarşik kontroldür [19]. İkincil kontrol yapısı, merkezi yaklaşımlar ve merkezi olmayan yaklaşımlar olmak üzere iki ana kategoriye ayrılabilir. Merkezi yaklaşımlı kontrol de altıya ayrılabilir. Bunlar; optimal dağıtım, teklif verme, model tabanlı olmayan yaklaşım, enerji depolama sistem düşünceleri, model öngörülü kontrol ve haberleşmedir. Üçüncül kontrol denetimi en üst düzeydir; uzun vadeli ve

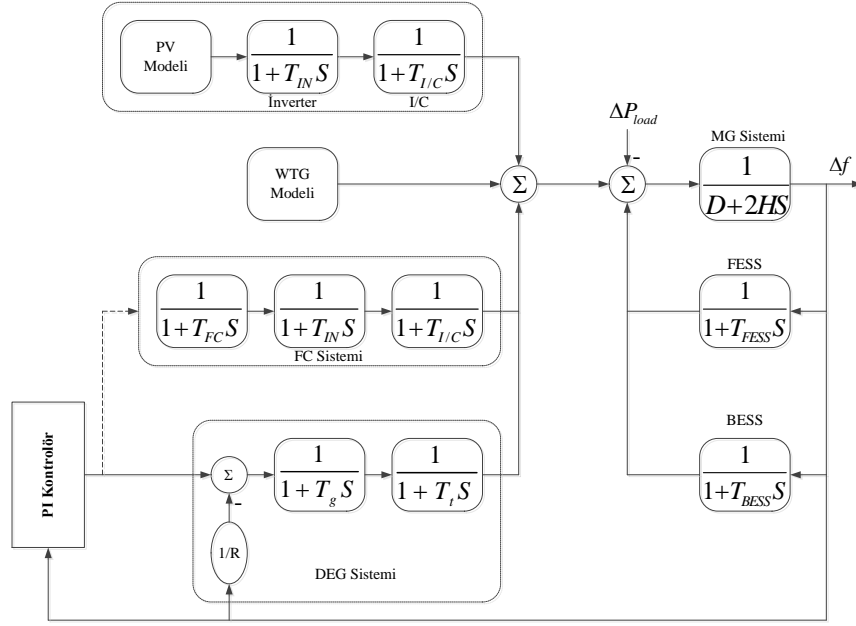
ana güç sisteminin gereksinimlerine bağlı olarak, genellikle “optimal” ayar noktalarını belirler. Bu üçüncül kontrol sistemi de birbirleri ile etkileşen birden fazla mikro şebekenin çalışmasının koordinasyonundan ve ana şebekeden (gerilim desteği, frekans regülasyonu, vs.) alt şebekelere doğru olan ihtiyacın ve gereksinimlerinin karşılanmasından sorumludur [8]. Üretim ve yüklerin çeşitliliğinden dolayı, bir AA mikro şebekesi, yüksek doğrusal olmayan dinamiklere sahiptir. Bu çalışma, ikincil kontrol frekans regülasyonu üzerine odaklanmıştır. Bu amaçla LSA ile en uygun kontrolör seçimi yapılmıştır.

2.2. Mikroşebekenin Modellenmesi

Birçok durumda, şebeke bağlantısız moddaki mikro şebeke sistemleri için kontrol planları, şebeke bağlantılı moddaki mikro şebekelere göre daha önemlidir. Yapılan bu çalışmada off-grid modda bir AA mikro şebeke sistemi, durum çalışması olarak kabul edilmiştir. Off-grid mikro şebeke sistemi Şekil 4’te gösterilmiştir.

Mikro şebeke sistemi; konvansiyonel dizel makinalı generatör (DEG), PV panel, rüzgâr türbinli generatör (WTG), yakıt hücresi (FC) sistemini, akü enerji depolama sistemini (BESS) ve volan enerji depolama sistemini (FESS) içerir. Şekil 3’te gösterildiği gibi, dağıtılmış üretimler mikro şebekeye güç elektroniği ara yüzleri tarafından bağlanır. FC üç yakıt bloğu içerir, ayrıca DC’yi AC’ye dönüştürmek için bir inverteri ve bir bağlantı cihazını (IC) içerir. FC yüksek dereceden bir karakteristiğe sahiptir, fakat frekans çalışmaları için üçüncü derece modelini kullanmak yeterlidir [20].

Her mikro kaynak, mikro şebekeden kaynaklanabilecek ciddi bozuklukların etkilerini önlemek için ya da korumak amacıyla şebekeye olan bağlantısını kesmek üzere bir devre kesiciye sahiptir. Üzerinde araştırma yapılacak mikro şebeke sistemindeki dağıtılmış üretim birimlerinin yanı sıra yüklerin de nominal değerleri Tablo 1’de verilmektedir.



Şekil 3. Mikroşebeke Frekans Cevap Modeli

Zorunlu olarak, DEG tarafından üretilen gücün belirli bir miktarı, sekonder frekans kontrolü için döndürme rezervi olarak kabul edilir.

Tablo 1. Mikroşebekedeki Üretim Sistemlerinin Güçleri

Sistem	Güç (kW)	Yük (kW)
Rüzgar EÜS	100	410
PV EÜS	30	
FC EÜS	70	
DEG EÜS	160	
FESS EÜS	45	
BESS EÜS	45	

Bir mikro şebekenin frekans tepkisini kolayca anlamak amacıyla, durum çalışmasında kullanılan basitleştirilmiş bir frekans tepkisi modeli Şekil 3'te gösterilmiştir. Şekil 3'te bulunan blok diyagramlarına ait parametre değerleri, Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Mikro Şebeke Sistem Parametreleri

Parametre	Değer	Parametre	Değer
D (pu/Hz)	0.015	$T_g(s)$	0.08
2H (pu.s)	0.1667	$T_t(s)$	0.4
$T_{BESS}(s)$	0.1	$T_I(s)$	0.004
$T_{FESS}(s)$	0.1	$T_{IN}(s)$	0.04
$T_{FC}(s)$	0.26	R (Hz/pu)	3

Enerji kaynaklarının çoğunun çıkış gücündeki önemli belirsizlikleri ve dalgalanmaları nedeniyle ve bunların yanı sıra kaynakların aralıklı bir yapıya sahip olmasından dolayı, genel sistem performansı ve kararlılığı üzerine etki eden istenmeyen dinamik etkileri azaltmak için etkin kontrol yöntemleri kullanılmalıdır. Aşağıda, modelde kullanılan değişik üretim alt sistemlerinin transfer fonksiyonları verilmiştir. WTG, PV, FV ve DEG için sırası ile

$$G_{WTGk}(s) = \frac{K_{WTG}}{1+sT_{WTG}} = \frac{\Delta P_{WTGk}}{\Delta P_W} \quad (1)$$

$$G_{PV}(s) = \frac{K_{PV}}{1+sT_{PV}} = \frac{\Delta P_{PV}}{\Delta \phi} \quad (2)$$

$$G_{FCk}(s) = \frac{K_{FC}}{1+sT_{FC}} = \frac{\Delta P_{FCk}}{\Delta P_{AE}} \quad (3)$$

$$G_{DEG}(s) = \frac{K_{DEG}}{1+sT_{DEG}} = \frac{\Delta P_{DEG}}{\Delta f} \quad (4)$$

Depolama sistemlerine ait transfer fonksiyonları ise şunlardır:

$$G_{FESS}(s) = \frac{K_{FESS}}{1+sT_{FESS}} = \frac{\Delta P_{FESS}}{\Delta f} \quad (5)$$

$$G_{BESS}(s) = \frac{K_{BESS}}{1+sT_{BESS}} = \frac{\Delta P_{BESS}}{\Delta f} \quad (6)$$

Bir güç sisteminin kararlı işletmesini sürdürebilmesi için toplam üretilen güç etkili bir şekilde kontrol edilmelidir ve bağlanan yüklerin toplam güç ihtiyaçları tam olarak sağlanmalıdır. Bu güç kontrol stratejisi, güç talep referansı P_s^* ve toplam güç üretimi P_s arasındaki fark tarafından belirlenir.

Sistem frekansı net güç değişimine bağlı olarak değiştiğinden, sistem frekans değişimi Δf aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$\Delta f = \frac{\Delta P_e}{K_{sys}} \quad (8)$$

Burada K_{sys} hibrit güç sisteminin sistem frekans karakteristik sabitidir. Sistem frekans değişimi ve güç sapsması arasında doğal bir zaman gecikmesi olduğu için, p.u. cinsinden güç sapsmasının sistem frekans değişimi için transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$G_{sys}(s) = \frac{\Delta f}{\Delta P_e} = \frac{1}{K_{sys}(1+sT_{sys})} = \frac{1}{D+2Hs} \quad (9)$$

Burada H ve D değerleri sırası ile hibrit güç sisteminin eşdeğer eylemsizlik sabitini ve sönümleme sabitini ifade eder. $K_{WTG}, K_{PV}, K_{FC}, K_{DEG}, K_{FESS}$ ve K_{BESS} değerleri modelde 1 olarak alınmıştır [4,21].

3. Sezgisel Optimizasyon Algoritmaları

Klasik optimizasyonların gelişen teknoloji ve sistemlerin çok boyutlu ve karmaşık problemlerini çözmede yetersiz kalması, sezgisel algoritmaların geliştirilmesine neden olmuştur. Sezgisel algoritmalar, tüm çözümleri arayıp değerlendirmek yerine bunların arasından olası yaklaşık çözümü bulan algoritmalarlardır. Sezgisel algoritmalar en uygun çözümü hızlı ve kolay bir şekilde bulmaya çalışırlar. Sezgisel algoritmalar problemlere basit bir şekilde uygulanabilir ve değişik problemlere uyarlanabilirler. Metasezgisel algoritmaları sınıflandırmanın birkaç yolu vardır. Birinci yol, algoritma geliştirmek için kullanılan metaforların tiplerine dayanmaktadır. Örnek olarak doğadan ilham alan algoritmalar (Particle Swarm Optimization [22], karınca koloni optimizasyonu [23], arı koloni optimizasyonu [24], bakteri besin arama optimizasyonu [25], bakteri sürü optimizasyonu [26]), sosyal esinlenilmiş algoritmalar (tabu arama [27], lig şampiyonluğu [28]) veya politik olarak esinlenen algoritmalar (yayılmacı rekabet [29]). Doğadan esinlenen algoritmalar, optimizasyon için etkili bir yöntem olarak göz önüne alındığında doğadan simüle edilmiş bir gelişim işlemiyle optimizasyon problemlerini çözer. Bu algoritmalarda genel yakınsama, doğadaki fiziksel ve ekolojik işlemler ve algoritmanın kendi optimizasyon mekanizmalarının simülasyonu ile gerçekleştirilir [30].

3.1. Lig Şampiyonası Algoritması

Spor tabanlı bir algoritma olan LŞA, Ali Husseinzadeh Kashan tarafından önerilmiş meta sezgisel bir yöntemdir [28]. LŞA sürekli olarak bir arama uzayında global optimizasyonu elde etmeye çalışan popülasyon tabanlı algoritmik bir yapıdır. LŞA diğer popülasyon tabanlı algoritmalar ile birçok ortak özelliğe sahiptir. Diğer popülasyon tabanlı algoritmalarda olduğu gibi LŞA da, optimizasyon noktası aranması sırasında arama yapılan alandan çözümün var olduğuna inanılan alana olası çözümlerin bir popülasyonunu taşımayı amaçlar. Popülasyon tabanlı algoritmalarda olduğu gibi LŞA'da da ilk popülasyon rastgele oluşturulur. LŞA'da popülasyon yerine lig terimi kullanılır. Ayrıca yineleme kelimesi yerine de hafta kelimesi kullanılır. Ligin her çözümü L takımlarından biri ile ilişkilidir (L çift sayı) ve takımın mevcut oluşumu olarak ifade edilir. Bu yüzden i takımı ligin i^{th} . sayısına eşleştirilir ve i takımı için özel bir formasyon (oluşum) ligdeki i^{th} . çözüme eşleştirilir. Ligdeki her bir çözüm amaçlanan hedefe yakınlığın derecesini gösteren belirli bir uyum değerine sahiptir. LŞA'da "uyum değeri" istenilen takım oluşumu ile birlikte "oyun gücü" olarak da yorumlanabilir. Hemen hemen tüm popülasyon tabanlı algoritmalar birbirini takip eden işlem adımlarını yeni iterasyonda yeni çözümler üretmek için tüm bireylere uygularlar. Bir LŞA takımı ile ilişkili yeni bir çözüm üretmenin yolu, takım için uygun bir düzenlemenin yapılabileceği yapay bir maç analiz süreci oluşturmaktır. Bu kısımda takımdaki bireylerin zayıf ve güçlü yönlerine bakılarak Swot analizi yardımı ile işlemler gerçekleştirilir. Swot analizi, bir planın geliştirilmesi veya bir sorunun çözümü amacıyla, bir kurumun veya durumun güçlü yanlarını belirleyerek, bunları en uygun fırsatlarla eşleştiren, zayıf ve tehdit edici yönleri azaltmayı hedefleyen sistematik bir planlama (stratejik planlama) aracıdır. İncelenen kuruluşla, teknikle, süreçle veya bir durumla ilgili olarak güçlü yanları (S), zayıf yanları (W), fırsatları (O) ve tehditleri (T) belirleme aracıdır. Burada genellikle S ve W dâhili, T ve O ise harici etkiye sahiptir. LŞA'da çözümler arasında aç gözlü seçim yapılır. Algoritma belirli bir sezon sayısında sona erer ve sonuçta her bir sezon L-1 hafta ve toplamda S/(L-1) haftadan meydana

gelir. LŞA'yı idealleştirmek için aşağıda verilen kurallar kullanılır.

İdealleştirme Kuralı 1- Oyun gücü daha iyi olan takımın maçı kazanma ihtimali daha fazladır.

İdealleştirme Kuralı 2- Oyunun sonucu takımların oyun güçleri çok iyi bilinse bile önceden tahmin edilemez.

İdealleştirme Kuralı 3- i takımının; j takımını yenme ihtimali, her iki takım için de eşit kabul edilir.

İdealleştirme Kuralı 4- Maçın sonucunda bir takım ya kazanır ya da kaybeder.

İdealleştirme Kuralı 5- i takımı; j takımı ile yaptığı maçı kazandığı zaman, " i takımının" maçı kazanmasını sağlayan bütün güçlü yönler " j takımının" kaybetmesine neden olan zayıflıklardır.

İdealleştirme Kuralı 6- Takımlar sadece bir sonraki hafta oynayacağı maça odaklanır. Formasyon ayarları sadece bir sonraki hafta meydana gelecek olaylara dayanmaktadır.

LŞA'da bir takım formasyonu (çözüm) $1 \times n$ boyutlu bir vektördür ve burada n değişken veya problem parametrelerinin sayısıdır. Parametrelerin her biri, oyuncudan biri ile ilişkilidir ve problemde kendisine karşılık gelen değişkenin değerini temsil eder. Değişken meydana gelen bir değişim yeni bir oluşumda ilgili oyuncunun işinde bir değişikliği yansıtır. $f(X = (x_1, x_2, \dots, x_n))$, \mathbb{R}^n nin bir alt kümesi olarak tanımlanan arama uzayında minimize edilmek istenen n değişkenli nümerik bir fonksiyon olsun. t . haftada i takımı için bir takım oluşumu (bir potansiyel çözüm) x_i^t den elde edilmiş olan uyum değerini gösteren $f(x_i^t)$ ile $x_i^t = (x_{i1}^t, x_{i2}^t, \dots, x_{in}^t)$ tarafından temsil edilir. Bu uyum değerine oyun gücü denir. $B_i^t = (b_{i1}^t, b_{i2}^t, \dots, b_{in}^t)$ i takımı tarafından t haftasına kadar olan en iyi oyun gücünü gösterir. B_i^t ye karar vermek için $f(x_i^t)$ ve $f(B_i^{t-1})$ değerleri arasında bir aç gözlü eleme yapılır.

Kısaca LŞA'nın işlemleri açıklanırsa; İlk olarak lig şeması üretilir. Lig şemasında tüm takımlar kendi aralarında mücadele ederler ve bu lig şeması sezon olarak isimlendirilir. Sezon boyu takımların karşılaşmaları belirlendikten sonra, takımların birbirleri ile yapacakları maçlara

geçilir ve kazanan ve kaybeden takımlar belirlenir.

Düzenli lig sistemlerinde 3 sonuç vardır. Bunlar; kazanmak, yenilmek ve berabere kalmaktır. Daha iyi bir oyun gücüne sahip bir takımın daha kötü bir takıma yenilebilme olasılığı daha azdır (İdealleştirme kuralı 1).

Dış etkilerinden yoksun ideal bir lig ortamı göz önüne alınırsa, bir takımın oyun gücü ile oyun sonucu arasında doğrusal bir ilişki kurulabilir. Bu nedenle, her takım oynarken gücü ile orantılı kazanma şansına sahip olabilir. Bu sonuç ikinci idealize kuralını doğurur. LŞA'da kazanan ve kaybeden takımlar için kazanma şansı, oyun gücü kriteri kullanılarak uyum derecesi ile orantılı olduğu şartı ile stokastik bir biçimde kabul edilir. Uyum derecesi takım oyun gücü ile orantılıdır ve ideal referans noktası uzaklığı tarafından ölçülür. t haftasında i ve j takımları arasındaki mücadelede, takımların x_i^t ve x_j^t formasyonları için oyun güçleri $f(x_i^t)$ ve $f(x_j^t)$ olsun. p_i^t i takımının j takımını yenme olasılığını gösterebilir. Aynı şekilde p_j^t de tanımlanabilir. \hat{f} uygun bir değer olsun. İdealleştirme kuralı 10'a göre yazılır.

$$\frac{f(x_i^t) - \hat{f}}{f(x_j^t) - \hat{f}} = \frac{p_i^t}{p_j^t} \quad (10)$$

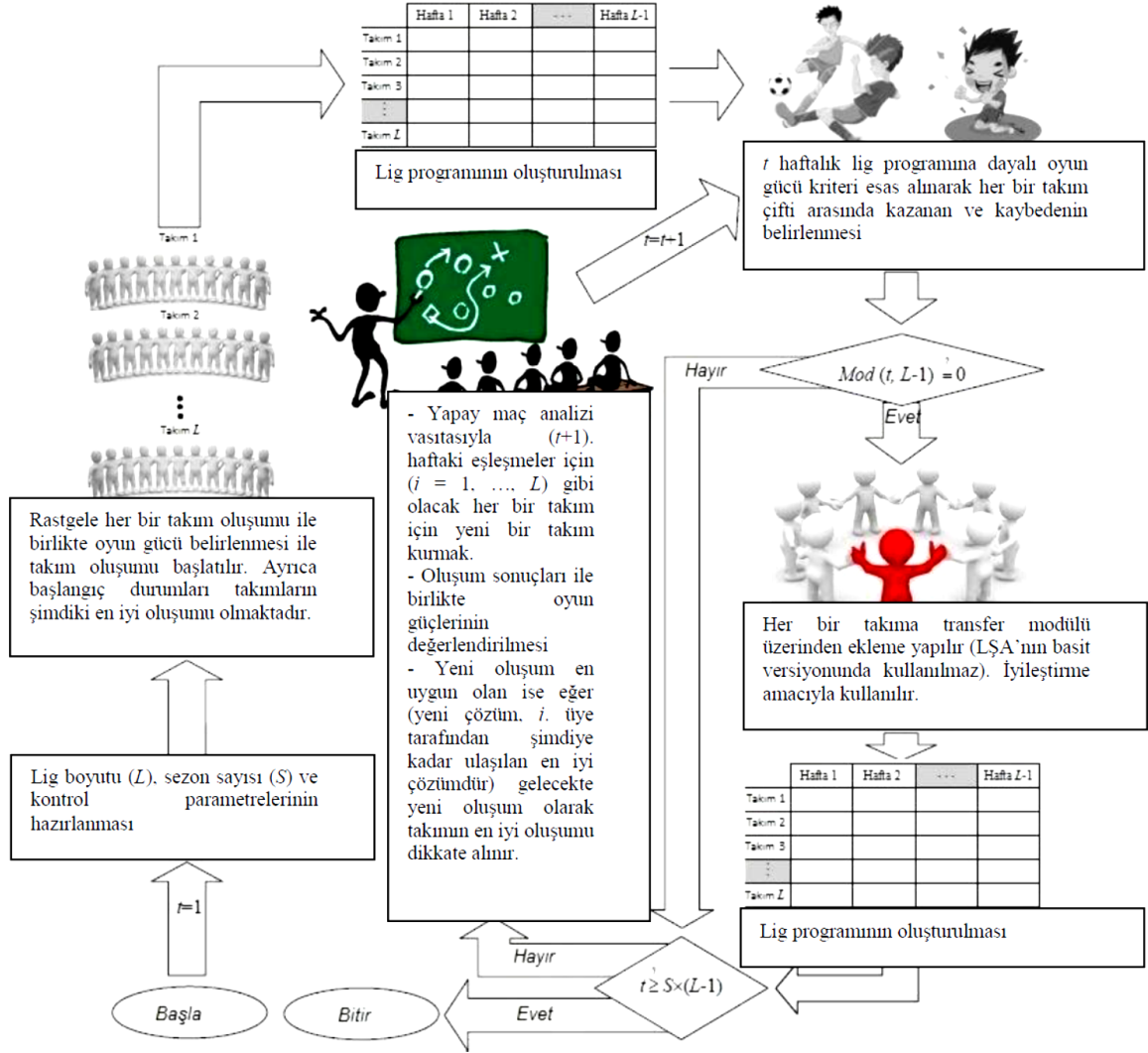
Denklem 10, i veya j takımı için umulan kazanma şansının, o takımın güncel oyun gücü ile ideal bir takımın ideal gücü arasındaki fark ile orantılı olduğunu gösterir. Takımların ortak bir referans noktasına olan mesafelerine göre değerlendirilebileceği için, mesafelerin oranı her takım için kazanan kısmı belirleyebilir. İdealleştirme kuralı 3'e dayanarak denklem 11 yazılabilir.

$$p_i^t + p_j^t = 1 \quad (11)$$

Denklem 10 ve 11 birleştirilerek denklem 12 elde edilir.

$$p_i^t = \frac{f(x_j^t) - \hat{f}}{f(x_j^t) + f(x_i^t) - 2\hat{f}} = \frac{p_j^t}{p_i^t} \quad (12)$$

Kazanan ve kaybedenin belirlenmesi için rastgele 0 ile 1 arasında bir sayı üretilir. Eğer o sayı P_{it} 'ye eşit veya daha küçük ise i takımı kazanır ve j takımı kaybeder; aksi takdirde j kazanır, i kaybeder. Kazanan / kaybedenin saptanması için böyle bir prosedür idealize edilmiş kural 2 ve 4 ile uyumludur.



Şekil 4. LŞA Algoritması Akış Diyagramı [31]

Bu adım ile kazanan ve kaybeden takımlar belirlenmiş olur. Kazanan ve kaybedenlerin belirlenmesinden sonra, 2. hafta mücadeleleri için yeni takım oluşumları gerçekleştirilir ve sonraki hafta maç yapacağı takıma göre Swot analizi yardımı ile takım oluşturulması sağlanır. Takım oluşumları tamamlandıktan sonra işlemler tekrar başa döner ve sezon bitene kadar algoritma çalışmaya devam eder. Şekil 4'te lig şampiyonası algoritmasına ait akış diyagramı verilmiştir.

4. Benzetim Sonuçları

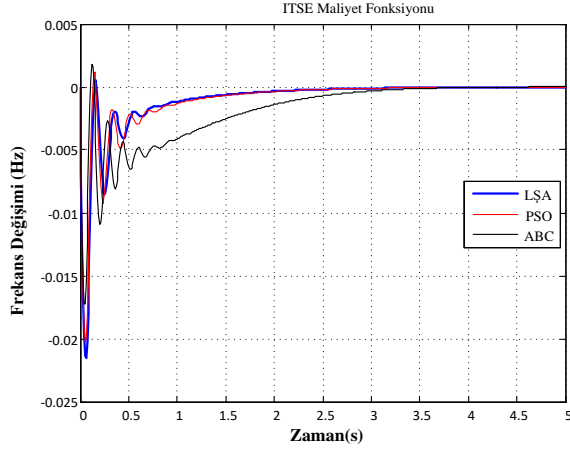
Mikroşebeke modelinde kullanılan DEG ve FC'ye ait PID kontrolörlerin kazançları, literatürde sıklıkla kullanılan performans kriteri olan ITSE'ye göre LŞA, PSO ve ABC ile

optimize edilmiştir. ITSE fonksiyonu denklem 13'te verilmiştir.

$$ITSE = \int_0^{\infty} t[e(t)]^2 dt \quad (13)$$

Simülasyonda yükün $t=0$ anında $\Delta P_L = 0.1$ (pu) kadar değiştiği kabul edilerek, bu değer kadar sistemde yük değişimi yapılmıştır. Çalışmada kullanılan yöntemlere göre elde edilen kontrolör kazançları Tablo 3'te verilmiştir. Tablo 3'te deg indisi ile ifade edilen kazançlar DEG sisteminde ve f_c indisi ile ifade edilen kazançlar ise FC sisteminde kullanılan kontrolörlere aittir. Kontrol açısından bakıldığında daha büyük kazanç değerleri sistemde olabilecek istenmeyen sinyalleri de kuvvetlendireceğinden, üst eşik

değer 10 olarak kabul edilmiştir [32, 33]. Bu tür seçimler literatürde kullanılmaktadır[34-40].



Şekil 5. Bozulma sonucundaki frekans değişimi

Şekil 5’te ITSE maliyet fonksiyonuna göre optimize edilen parametrelerin kullanıldığı sistemden elde edilen frekans cevabının sonucu verilmiştir. Maksimum taşmaya göre en iyi performans ABC ile elde edilmişken, yerleşme sürelerine göre ABC performansı LŞA performansına göre geride kalmaktadır. PSO’nun maksimum taşma miktarına göre LŞA ile yaklaşık aynı değere sahip olmasına rağmen, yerleşme zamanına göre az da olsa bir fark söz konusudur. ITSE performans indeksine göre elde edilen yerleşme süresi ve maksimum bozulma miktarları Tablo 3’te detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 3. Optimum Kontrolör Kazançları

	LŞA	PSO	ABC
Kp_{deg}	7.1293	9.1825	9.4629
Ki_{deg}	9.9986	9.9997	9.3322
Kd_{deg}	2.0217	2.2901	2.4100
Kp_{fc}	9.9981	8.5292	1.6229
Ki_{fc}	9.9985	9.9626	1.5141
Kd_{fc}	0.0049	0.0101	1.6738

Sonuçlara göre LŞA; yerleşme süresi dikkate alındığında en iyi sonucu verirken, maksimum çökmeye göre en kötü performansı göstermektedir.

Şekil 5, optimize edilen kazançların sistemde yerine konulması sonucunda elde edilen zaman domain benzetimlerini, Tablo 4 ise bunların yerleşme sürelerini, maksimum taşmalarını ve performans kriteri olan maliyet değerlerini gösterir. Bu değerler incelendiğinde LŞA

algoritmasının ITSE performans indeksinde en düşük değeri bulduğu görülmektedir.

Tablo 4. Mikro şebekedeki maksimum taşma, yerleşme zamanı ve maliyet değerleri

	ITSE	
LŞA	Yerleşme zamanı (sn)	3.6102
	Maksimum taşma	0.0215
	Maliyet değeri	0.00000588
PSO	Yerleşme zamanı (sn)	3.6272
	Maksimum taşma	0.0202
	Maliyet değeri	0.00000609
ABC	Yerleşme zamanı (sn)	3.9099
	Maksimum taşma	0.0172
	Maliyet değeri	0.0000258

5. Sonuçlar

Güç sistemlerine katılan yeni enerji üretim santrallerinin bağlanma gerilimlerine paralel olarak, önemi günden güne artan mikro şebeke sistemlerinde oluşan ciddi bozulmaları düzeltebilecek ve üretim-yük dengesini koruma yeteneği olan optimum kazançlara sahip kontrolörlere ihtiyaç vardır. Bu amaca uygun olarak bu çalışmada yük-frekans kontrolünü yapan kontrolör kazançlarının belirlenmesi için yeni bir sezgisel yöntem olan Lig Şampiyonası Algoritması önerilmiştir. Sonuçlar ITSE performans indeksine göre elde edilmiş ve önerilen yöntem performansı, literatürde yaygın olarak bilinen PSO ve ABC ile optimize edilmiş kazançlar ile karşılaştırılmıştır. Sonuçta, yerleşme süreleri ve maliyet değerlerine göre LŞA performansının daha üstün olduğu görülmüştür. Gelecekte yapılabilecek çalışmalardan birisi, bu çalışmada önerilen LŞA algoritmasının gerçek zamanlı olarak çalıştırılması ile uygulamaya geçirilmesi olarak düşünülmektedir.

6. Kaynaklar

1. Chowdhury, C.S., Chowdhury, P., Crossley, P. (2009). The institution of engineering and technolog. Microgrids and Active Distribution Networks. London, U.K: Inst. Eng. Technol.
2. Lasseter, R.H., Akhil, A., Marnay, C., Stephens, J., Dagle, J., Guttromson, R., Meliopoulos, A., Yinger, R.J. (2002). The CERTS microgrid concept. White Paper, Transmission Reliability Program, Office of Power Technologies, U.S. Dept. Energy.

3. Lasseter, R.H., Eto, J.H., Schenkman, B., Stevens, J., Vollkommer, H., Klapp, D., Linton, E., Hurtado, H., Roy, J. (2011). CERTS microgrid laboratory test bed. *IEEE T POWER DELIVER* **26**: 325–332.
4. Bevrani, H., Habibi, F., Babahajyani, P., Watanabe, M., Mitani, Y. (2012). Intelligent Frequency Control in an AC Microgrid: Online PSO-Based Fuzzy Tuning Approach. *IEEE T SMART GRID* ; **3**: 1935-1944.
5. Jiayi, H., Chuanwen, J., Rong, X. (2008). A review on distributed energy resources and MicroGrid. *RENEW SUST ENERG REV*; **12**: 2472–2483.
6. Ilić, M.D., Liu, S.X. (1996). Hierarchical Power Systems Control: Its Value in a Changing Industry (Advances in Industrial Control). London, U.K: Springer.
7. Ilic-Spong, M., Christensen, J., Eichorn, K.L. (1988). Secondary voltage control using pilot point information. *IEEE T POWER SYST*; **3**: 660–668.
8. IEEE-PES Task Force on Microgrid Control. Trends in Microgrid Control. *IEEE T SMART GRID* 2014; **5**: 1905-1919.
9. Bevrani, H., Hiyama, T. (2011) Intelligent Automatic Generation Control. New York, U.S.A: CRC.
10. Brabandere, K.D., Bolsens, B., Den Keybus, J.V., Woyte, A., Driesen, J., Belmans, R. (2007). A voltage and frequency droop control method for parallel inverters. *IEEE T POWER ELECTR*; **22**: 1107–1115.
11. IEEE Transactions On Power Systems. Definition and Classification of Power System Stability. *IEEE T POWER SYST* 2004; **9**: 1387-1401.
12. Guerrero, J.M., Vasquez, J.C., Matas, J.L., De-Vicuña, G., Castilla, M. (2011). Hierarchical control of droop-controlled AC and DC microgrids— A general approach towards standardization. *IEEE T IND ELECTRO*; **58**: 158–172.
13. Mohamed, Y., Radwan, A.A. (2011). Hierarchical control system for robust microgrid operation and seamless mode transfer in active distribution systems. *IEEE T Smart Grid*; **2**: 1949–3053.
14. Mehrizi-Sani, A., Iravani, M.R. (2010). “Potential-function based control of a microgrid in islanded and grid-connected modes,” *IEEE T POWER SYST* 2010; **25**: 1883–1891.
15. More Microgrids. Advanced Architectures and Control Concepts for more Microgrids: Definition of Ancillary Services and Short-Term Energy Markets Deliverable DD4. More MicroGrids Technical Internal Report, EU FP6 Project: More Microgrids 2009.
16. Karimi, H., Nikkhajoei, H., Iravani, M.R. (2008). Control of an electronically- coupled distributed resource unit subsequent to an islanding event. *IEEE T POWER DELIVER*; **23**: 493–501.
17. Katiraei, F., Iravani, M.R., Lehn, P.W. (2005). Micro-grid autonomous operation during and subsequent to islanding process. *IEEE T POWER DELIVER*; **20**: 248–257.
18. Karimi, H., Yazdani, A., Iravani, M.R. (2008) Negative-sequence current injection for fast islanding detection of a distributed resource unit. *IEEE T POWER ELECTR*; **23**: 298–307.
19. Firestone, R.M., Marnay, C. (2005). Energy Manager Design for Microgrids. Tech. Rep. Consortium for Electric Reliability Technology Solutions (CERTS), Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, 94720, USA.
20. Obara, S. (2007) Analysis of a fuel cell micro-grid with a small-scale wind turbine generator. *INT J HYDROGEN ENERG*; **32**: 323–336.
21. Lee, D.J., Wang, L. (2008). Small-signal stability analysis of an autonomous hybrid renewable energy power generation/energy storage system part I: Time-domain simulations. *IEEE T ENERGY CONVER*; **23**: 311–320.
22. Kennedy, J. (2010). Particle swarm optimization. In *Encyclopedia of Machine Learning*. London, U.K: Springer. pp. 760-766.
23. Marco, D., Gambardella, L.M. (1997) Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem. *IEEE T EVOLUT COMPUT*; **1**: 53-66.
24. Karaboga, D. (2005). An idea based on honey bee swarm for numerical optimization. **Vol. 200**. Technical report-tr06, Erciyes university, engineering faculty, computer engineering department.
25. Passino, K.M. (2002). Biomimicry of bacterial foraging for distributed optimization and control. *IEEE CONTR SYST MAG*; **22**: 52-67.
26. Biswas, A., Dasgupta, S., Das, S. Abraham, A. (2007). Synergy of PSO and bacterial foraging optimization—a comparative study on numerical benchmarks. *Innovations in Hybrid Intelligent Systems*. Berlin Heidelberg: Springer. pp. 255-263.
27. Glover, F. (1989). Tabu search-part I. *ORSA Journal on computing*; **1**: 190-206
28. Kashan, A.H. (2011). An efficient algorithm for constrained global optimization and application to mechanical engineering design: League championship algorithm (LCA). *IFAC SYMP SERIES*; **43**: 1769-1792.
29. Nikolaidis, N., Ioannis, P. (1998) Robust image watermarking in the spatial domain. *SIGNAL PROCESS*; **66**: 385-403.
30. Akyol, S., Alataş, B. (2012) Güncel Sürü Zekası Optimizasyon Algoritmaları. Nevşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi; **1**: pp. 36-50
31. Bingöl, H., Alataş, B. (2015). Metasezgisel Optimizasyon Tekniklerine Spor Tabanlı Yeni Bir

- Yaklaşım: Lig Şampiyonası Algoritması. Fırat Üniv. Fen Bilimleri Dergisi, **27(1)**, 1-11.
- 32.** Astrom, K.J. (1995). PID controllers: theory, design and tuning. Instrument society of America, Park, NC: Instrument Society of America.
- 33.** Uçar, A., Çelik, V. (2004). PI Kontrollü Doğrusal Olmayan Sistemlerde Osilasyon. Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi A, 2004, 5(1), 183-189.
- 34.** Özdemir, M.T., Öztürk D. İki Bölge Güç Sisteminin Optikten Esinlenen Optimizasyon Algoritması ile Optimal Yük Frekans Kontrolü, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 28 (2), 57-66, 2016
- 35.** Özdemir, M.T., Öztürk, D. (2016). Optimal PID Tuning for Load Frequency Control using Optics Inspired Optimization Algorithm, ICNES 2016, September 01-05, 2016, Skopje, Macedonia
- 36.** Özdemir, M.T., Öztürk, D., Eke, İ., Çelik, V., Lee, K.Y. (2015). Tuning of Optimal Classical and Fractional Order PID Parameters for Automatic Generation Control Based on the Bacterial Swarm Optimization. IFAC-PapersOnLine, 48(30), 501-506.
- 37.** Özdemir, M.T., Yıldız, S. (2016). Yüksek Gerilimli Doğru Akım Bağlantı Hattının Çok Bölge Güç Sisteminde Yük Frekans Kontrolüne Etkileri. Güç Sistemleri Konferansı-GSK'2016" 15-16 Kasım 2016 İstanbul.
- 38.** Özdemir, M.T., Özel S. (2016). Load-Frequency Optimization with Heuristic Techniques in A Hybrid AC Microgrid. International Engineering, Science and Education Conference (INESEC 2016) 1 - 3, 2016 in Diyarbakır/Turkey.
- 39.** Özdemir, M.T., Yıldırım, B., Gülan, H., Gençoğlu, M.T., Cebeci, M. (2016). Automatic Generation Control in an AC Microgrid using the League Championship Algorithm, ICNES 2016, September 01-05, 2016 Skopje, Macedonia
- 40.** Özdemir, M.T., Çelik, V. (2016). Computation Stability Region of the PI Controller for the Automatic Voltage Regulation, International Congress On Natural And Engineering Sciences, ICNES 2015, September 09-13, 2015 Herzegovina, Bosnia