



Mikro Şebeke Sistemlerine Dayalı Elektrik Piyasasında Fiyat Oluşturulma Senaryosu

Mehmet Rıda Tür^{1,*}

¹Mardin Artuklu Üniversitesi, Midyat MYO, Elektrik ve Enerji Bölümü, 47500, Midyat / Mardin

Öz

Mikro şebeke piyasasını rekabetçi bir hale getirmek için çoklu güç üretici sağlayıcıları da düşünülebilir. Rekabetçi elektrik piyasasının asıl amacı, tüketicilere en uygun fiyatlarda enerji sağlamaktır. Bu çalışmanın temel amacı, rekabetçi elektrik piyasasında Mikro şebeke enerjisinin fiyatlandırma mekanizmasını farklı enerji kaynakları kullanılarak analiz etmek ve sunmaktır. Mikro şebekenin merkezi kontrolörü, pazardaki sistem marjinal fiyatı (SMF) ve piyasa takas fiyatının (PTF) oluşması için ihaleye katılımı gerçekleşen tüm enerji yönetim sistemi faaliyetlerinin arkasındaki ana denetimdir. Bu makalede, fiyat oluşturmada iki önemli pazar uzlaştırma tekniği- Gün öncesi ve Gün içi piyasası- kısaca tartışılmıştır. Ayrıca, PV ve rüzgar gücünün pazarlanması için kısa bir kılavuz sunularak, yenilenebilir DEK'lerin Pazar fiyatlandırmasında stratejileri dikkate alınmıştır. Mikroşebeke sistemindeki tüketiciler, öncelikleri gereği, atılabilir veya zorunlu yük olarak sınıflandırılarak bu yüklerin talep eğrisini nasıl etkilediği de tartışılmıştır. Böylece, talep ve arz yönlü teklif stratejilerine dayalı olarak fiyat teklifi konusunda bir durum çalışması incelemesi sunularak, mikro şebeke kapsamında enerji yönetimi, fiyat volatilitesi ve yük alma-yük atma talimatlarının fiyatlandırma üzerindeki etkileri de tartışılmıştır.

Makale Bilgisi

Başvuru: 24/10/2018

Düzeltilme: 13/01/2019

Kabul: 13/01/2019

Anahtar Kelimeler

Mikro şebekeler
Dağıtık enerji kaynakları
Sistem marjinal fiyatı
Piyasa takas fiyatı
Gün içi piyasası
Gün öncesi piyasası

Keywords

Micro grids
Distributed energy
resources
System marginal price
Market clearing Price
Day-time market
Day-ahead market

The scenario of price creation in the electricity market based on micro-grid systems

Abstract

Multiple power generator providers can be considered to make the micro grid market competitive. The main reason for the competitive electricity market is to provide consumers with the most affordable prices. The main objective of this study is to analyze and present the pricing mechanism of micro grid energy in the competitive electricity market by using different energy sources. The central controller of the micro grid is the main control behind all the energy management system activities that participate in the tender for the system marginal price (SMP) and the market clearing price (MCP). In this article, two important market reconciliation techniques in price creation - Day ahead and Balancing Power Market - are briefly discussed. In addition, a brief guideline for the marketing of PV and wind power was taken into consideration and strategies of renewable DERs in market pricing were taken into consideration. Consumers in the microcirculation system are classified as shed-able and non-shed-able load, and this has been discussed as how they affect the demand curve. Thus, a case study review on the price offer was presented based on the demand and supply-side bid strategies, and the effects of energy management, price volatility and down-up load instructions on pricing were also discussed.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

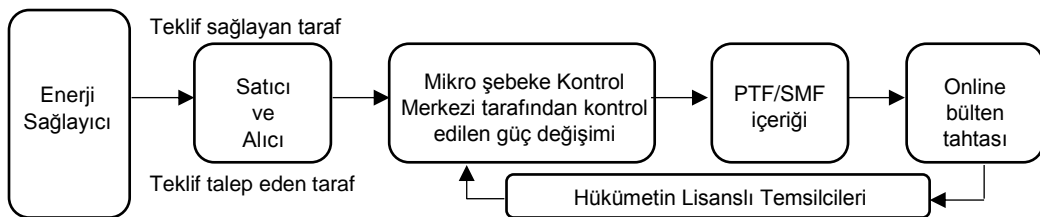
Yeniden yapılanmanın elektrik enerjisi sektörüne girmesiyle birlikte, elektrik fiyatı güç piyasasında tüm faaliyetlerin odak noktası olmuştur [1]. Alternatif enerji kaynaklarının tasarımı ve kullanımında ele alınması gereken bir konu, bunları kullanabilen esnek şebeke sistemlerinin oluşturulmasıdır. Bunun özellikle önemli bir yönü, birçok küçük üreticiden oluşan mikro şebeke sistemlerinin oluşturulmasıdır. Tüketiciler, alternatif enerji kaynaklarından birincil enerji üretimi gibi genellikle devamlı olmadığı özel bir sistemle bir araya gelebilirler. Bir mikro şebeke, yerleşim kolonileri gibi küçük ölçekli yerel enerji

üretimini, hem yenilenebilir (küçük rüzgar ve PV gibi) hem de geleneksel olmayan kaynaklarda (mikro türbin, yakıt hücreleri, dizel jeneratör), bir yardımcı programı oluşturmak için kendi aralarında birbirine bağlı olduğu bir sistemdir. Farklı üretim kaynaklarına sahip bu küçük santraller, yerel kontrolörler yardımıyla yerel olarak yük tedarik etmektedir. Yük kontrolörleri, üretim tahminine göre üretim planlaması için kararlar alırlar. Mikro şebekeler de tamamen kendi başlarına olabilir veya daha büyük geleneksel güç şebekelerine bağlanabilir. Fakat, dağıtık enerji kaynakların (DEK) dağıtım sistemine mikro gruplar oluşturarak nüfuz etmesi, geliştirilmiş güvenilirlik, güç kalitesi ve daha az dağıtım kaybı içeren yerinde üretim avantajlarını getirmektedir [2]. DEK'lerin dağıtım sistemine entegre edilmesiyle elde edilen faydaların yanı sıra, ekonomik, ticari ve teknik zorluklar da vardır [3, 4]. Güç yönetimi ile ilgili bazı teknik zorluklar literatürde ele alınmıştır [5,6]. Mikro şebekelerin etkin yönetimi ve piyasa analizi zorlu bir görevdir ve dahil olan karmaşıklık, rüzgar ve fotovoltaiik gibi ayrılmaz DG'lerin fiyatlandırması varsa bu zorluk artmaktadır [7, 8]. Piyasa fiyatlandırmasının yanı sıra Mikro şebekelerde her zaman arz-talep uyumsuzluğu sorunu vardır. Bu tür bir soruna bilinen çözümlerden biri, mikro güçlerin yedek güçle donatılmasıdır (örneğin Döner rezerv ve dizel jeneratör). Bu tür yedekleme sistemleri ile işletme ve bakım maliyetleri ve çevresel etkiler yeşil DEK'lere kıyasla önemli ölçüde yüksektir ve dolayısıyla yeşil DER'leri etkin bir şekilde kullanmak için yüksek düzeyli istihbaratın geleneksel kontrol stratejilerine dahil edilmesine özen gösterilmesi, arz ve talep arasındaki uçurumu önemli ölçüde azaltabilir. Böylece piyasaya yönelik fiyatlandırmalarda kolaylıklar oluşacaktır. PV ve rüzgar, öncelikle bir Makro şebekeye uzak uygulamalar için bir güç kaynağı olarak görülmüştür. Şebekeye bağlı uygulamalar için invertörlerin geliştirilmesi ile şebekeye bağlı PV ve rüzgârlara olan ilgi günden güne arttı [9,10]. Şebekeye bağlı PV şemalarının yararları, çevreye yönelik kaygıları, yakıt tüketiminde azalma ile bağlantılı enerji kredisi ve yeni bir teknolojiye katılma ve katkıda bulunma fırsatı olarak görülmektedir [11].

Bu analizi yaparken Mikroşebeke enerji pazarında merkezi kontroller yapılar ve PTF belirlemek üzere ihale sürecine girilir. Burada iki önemli Pazar oluşturma tekniği vardır. Bunlar; gün öncesi ve gün içi piyasasıdır. Yenilenebilir (PV ve rüzgâr jeneratörü) günlük üretiminde piyasa koşulları dikkate alınarak stratejiler belirlenir. Buradaki amaç, çeşitli tüketicilere farklı dağıtık enerji türlerini ulaştırmaktır ve tüketiciler için SMF ve PTF araştırmasını yapmaktır. Bu tüketimler atılabilir yükler ve gerekli yükler olarak sınıflandırılır. Elektrik yüklerinin bir grubunu beslemek için Küçük ölçekli enerji kaynaklarının kullanımı, elektrik enerjisi için büyüyen taleplerle artmaktadır [12].

Bir elektrik pazar sistemi, fiyat belirlemek amacıyla arz ve talebi kullanarak elektrik alış satışı işlemi gerçekleştirir. Elektrik birim fiyatını düşürmek için rekabetçi elektrik pazarlarını oluşturmak her zaman için ilk seçenektir. Mikro şebekeler yerel pazarlarda mevcuttur ve genellikle orta ölçekli ticari tüketicilere hizmet eder onların isteklerine cevap verirler. Piyasadaki müşteriler her zaman bu fiyatlandırma mekanizmasına katkıda bulunacak maddi teşviklere sahip değildir. Bu eksiklikten dolayı birçok elektrik piyasası modeli makul kararlar alabilecek gerçek talepleri olan tüketiciler gibi davranamazlar, fakat bu tüketiciler sadece bütün şartlar altında karşılanması gereken bir yük olarak görülürler. Bu pazardaki aktif katılım (talep eden tarafların aktif katılımı) hala minimum düzeydedir.

Bu çalışmanın asıl amacı, çeşitli tüketicilere farklı dağıtık enerji türlerini ulaştırmaktır ve tüketiciler için SMF ve PTF araştırmasını yapmaktır. Bu tüketimler atılabilir yükler ve gerekli yükler olarak sınıflandırılır. Beş farklı üretim teklifi düşünülmektedir, 1.Teklif: Rüzgâr jeneratörü, 2.Teklif: Güneş PV, 3.Teklif: Mikro türbin, 4.Teklif: Yakıt hücresi ve 5.Teklif: Dizel jeneratörü. Teklif 1-2 yenilenebilir enerji, teklif 3-5 ise BIG sistemleridir. Bu modelde hem arz eden hem de talep eden taraf önemli rol oynamaktadır. Şekil 1'de gösterildiği gibi, elektrik piyasasında genellikle iki önemli Pazar oluşturma tekniği benimsenmiştir, bu teknikler sırasıyla gün öncesi ve gün içi piyasasıdır.



Şekil 1. Teklif edilen Mikroşebeke pazar modelini ticari yapısı

2. MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHODS)

2.1. Mikro Şebekelerde Fiyatlandırma Senaryosunun Oluşturulması (The Creation of Pricing Scenarios in Micro Grids)

Mikroşebeke araştırmada iki önemli alan vardır. Bunlar; teknik ve ekonomik alanlardır. Teknik araştırmalar ana şebeke ve Mikroşebeke ara yüz programları, gerilim ve frekans regülasyon yanı sıra, aktif ve reaktif güç kontrolü ve çeşitli diğer teknik konular ile ilgili sorunları inceliyor. Ekonomik yönden değerlendirme; pazar yapısı, iş modeli ve enerji piyasası gibi konuları içermektedir [13, 14]. Bu çalışmada enerji piyasasında fiyatlandırma üzerinde analizler yapılmaktadır.

Her şeyden önce bir Mikro şebeke uygulanması maliyetine DEK maliyeti dâhildir dağıtık enerji (DE) ve depolama gibi. İkinci yatırım güç elektroniği cihazlarının fiyatıdır, örneğin; farklı tip dönüştürücüler. Ayrıca, gerekli ekipmanların diğer birçok parçaları vardır, bunlar; koruma cihazları, haberleşme bağlantıları ve temek güç sistemleridir. Nihai yatırım maliyeti, Mikroşebeke uygulama sonrasında ortaya çıkan bakım ve işletme maliyetidir. Yukarıdaki tüm maliyetlerin toplamı müşteri tarafından ödenen ücret gibi sistemin fiyatıdır, böylece bu maliyetlerin optimize etmek gereklidir. Bir Mikroşebeke sisteminin bu maliyetleri üç farklı kategoride değerlendirilir [15].

- DEK işletme maliyetleri (Yakıt maliyetleri, kontrol ve bakım maliyetlerini içerir)
- DEK sermaye maliyetleri (DE ve diğer gerekli cihazların kurulumu maliyetlerini içerir)
- Elektrik Ücretleri (Mikroşebeke ana şebekeden elektrik satın alınca tüketiciler tarafından ödemeler)

Mikro şebekeler, yardımcı hizmet piyasaları gibi enerji piyasasında katılabilir. Çoklu madde sistemine göre Oligopolistik yöntem Mikro şebekeler için iyi bir pazar yapısıdır [16, 17]. Oligopol piyasası, genelde 2, 3 veya 4 oyuncunun (üretici, aracı veya satıcı) hakimiyetinde şekillenen piyasa. Doğal nedenlerin etkili olmadığı durumlarda çoğu piyasa oligopol piyasasına dönüşür. Zira tekel piyasasındaki büyük kâr imkânlarının çekiciliği yeni oyuncuların katılımına yol açar. Veri toplayıcılara göre Mikroşebeke ve ana şebekeye farklı bakış açıları vardır. Örneğin, Mikro şebekeden ana şebekeye enerji satışı olduğunda, bilgi toplayıcılar ana şebeke bakış açısından satıcıdır ve Mikroşebeke bakış açısından alıcıdır [18]. Son zamanlarda, enerji işlemlerini değiştirmek için birçok öneri sağlanmıştır, perakende çarkı bunlardan biridir. Bu Yöntemin ana hedefi, elektrik enerjisinin maliyeti azaltmak için bir pazar stratejisi üretmektir. Bunun basit bir açıklaması, elektrik tedarikçileri ve müşterileri işlemlerini uzaktan gerçekleştirebilmektir. Ayrıca, Mikroşebeke aracılığı fazla enerji serbest rekabet şeklinde ana şebekeye iletilir [19].

A. Sistem Marjinal Fiyatının Oluşturulması

Tüm teklif bölgeleri ve fatura dönemine yönelik oluşturulan SMF, üretim ve tüketim dengesine göre Tablo 1'de gösterilen şekilde belirlenir. İlgili saat ve bölgede enerji eksikliği olarak açık meydana geldiğinde, SMF belirlenmesi için, YAL için verilen teklif fiyatları küçükten büyüğe göre sıralanır ve en düşüğünden başlanılarak hesaplanan NTH değerine denk gelen en yüksek olarak verilen eşik olarak kabul edilir. İlgili dönemde sistemde denge durumu oluşacağına, SMF, teklif bölgesi (t) ve uzlaştırma dönemi (u) üzerinden belirlenen gün öncesi fiyatı oluşur.

Tablo 1. YAL ve YAT tekliflerine göre SMF

YAL teklifleri			YAT teklifleri		
Fiyat (TL)	Miktar(MWh)	Etiket	Fiyat (TL)	Miktar(MWh)	Etiket
102,5	25	-	47,5	25	2
97,5	125	0	45	75	2
95	150	1	42,5	50	1
92,5	125	0	40	50	2
70	75	-	35	50	2
65	100	2	25,5	50	-
62,5	50	-	20	50	1
60	75	0	17,5	25	-
57,5	100	0	7,5	30	-
55	25	0	2,5	20	-

Sistemde verilen YAL ve YAT teklif fiyatları baz alınarak yapılan belirleme işlemde sırasıyla;

- Enerji açığı oluştuğunda en düşükten en yükseğe doğru,
- Enerji fazlalığı oluştuğunda en yüksekten en düşüğe doğru

olmak üzere DGP kontrolünde yapılan sıralamada NTH değerine denk gelen tutar SMF olarak kabul edilir. Tablo 1’de gösterildiği gibi SMF 70 TL olarak belirlenir.

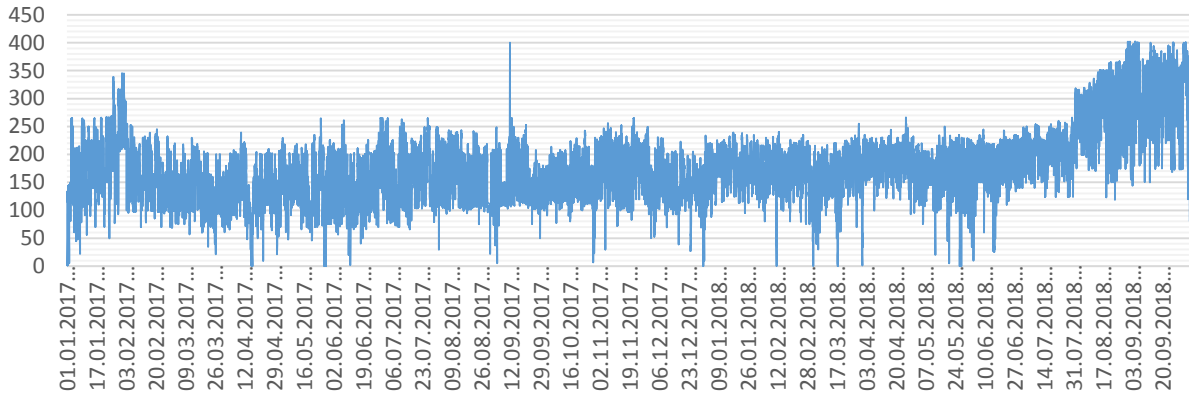
Tablo 1’den elde edilen sonuçlara göre;

0-Kodlu YAT değeri 0 MW, YAL değeri 450 MW, NET ise 400 MW’dır.

1-Kodlu YAT değeri 100 kW, YAL değeri 150 MW, NET ise 0 MW’dır.

2-Kodlu YAT değeri 200 MW, YAL değeri 100 MW, NET ise 0 MW’dır.

Piyasa için net hacim baz alınarak verilen fiyat teklifleri ile SMF’nın belirlendiği ve buna göre sistemin gerçek yönünün oluştuğu görülmektedir. Çalışmanın yapılması ve sonuca varılması için yapılan deney/gözlem ve uğraşların tamamının belirtildiği kısımdır. 1 Ocak 2017 tarihinden itibaren ulusal güç sistemimiz için elde edilen SMF TL/MWh cinsinden değeri Şekil 2’de gösterilmektedir.



Şekil 2. 2017-2018 tarihleri arasında hesaplanan SMF değişimi

B.Piyasa Takas Fiyatının Oluşturulması

Elektrik piyasasında iki önemli fiyatlandırma kuralı vardır. Bunlardan ikisi de genelde gerçek zamanlı piyasada kullanılır:

- 1- Tek fiyatın olduğu piyasa kuralları
- 2- Ayırıcı ihale piyasası kuralları

İlki elektrik piyasasında çok yaygındır. Bu süreçte satıcılar kendi elektrikleri için PTF alırlar, hatta bu fiyat bütün tüketicilerin PTF için ödeyeceği fiyattan ya daha azdır ya da daha fazladır. Bütün tüketicilerin PTF için ödeyeceği fiyattan daha az ya da daha fazla ödeseler bile, bu süreçte satıcılar kendi elektrikleri için PTF alırlar. Böyle bir sisteminin arkasındaki teori şudur: elektriği satmak için verilen bütün teklifler bu elektriğin en ucuz maliyetinde fiyatlandırılır. İkinci kurala gelince bu ihaleyi alan her katılımcı ihale ücretini öder. Bu sistemde, ihale en düşük fiyatı tahmin ederek yapılır ve bu en ucuz maliyete dayalı değildir. Bu tahmin saatlik ihalelerin sonuçlarını takip ederek günde 24 defa olarak yapılır. Bu sürecin dezavantajı fiyatı düşük veren firmalar yanlış olarak tahmin ederek en düşük fiyattan daha yüksek bir fiyat verebilir. Böylece yüksek fiyat veren firmalar işi alacak diğer firmalar boşta kalacak. Böylelikle enerjinin maliyeti ortalama Pazar fiyatının üzerinde olacak. İhale ile ödeme sistemi elektrik üretiminin toplam maliyetini arttırabilir ve bunun sonucu olarak da Piyasa denge fiyatı sisteminde daha az etkin olacaktır. Enerji sektöründe serbestleşmenin ortaya çıkması ile birlikte bu fiyatlandırma sisteminin uygulanması doğal bir süreç haline dönüşür. Çünkü ihale usulü ile yapılan tekliflerde gerçek fiyatın ortaya çıktığına inanılır.

PTF talep ve arz arasındaki en düşük fiyatı elde etmektir. Bu fiyatta hem üreticiler hem de tüketiciler tatmin olur ve kabul edilen ihale fiyatı üzerinden yeterli miktardaki enerji tüketicilere sağlanır. İhale satış fiyatları genellikle en düşük fiyattan en yüksek fiyata göre düzenlenir. Bunun aksine satın alma fiyatı ise en yüksekten en düşük fiyata doğru düzenlenir. PTF içerisinde toplam satış ihale fiyatları toplam ihale alışı fiyatlarına denk olur. Bir piyasada arz talep teklifleri benzerdir. Bu bölüm, doğrusal tekliflerde rekabet piyasasındaki PTF 'nin detaylı bir analizi sunmaktadır. Talep cevabını şöyle tanımlanır; zamanla elektrik fiyatındaki değişikliklere cevap olarak normal tüketim modellerinden son kullanıcı müşterilere kadar elektrik kullanımında görülen değişikliklerdir, ayrıca yüksek toptan piyasa fiyatlarının olduğu zamanlarda veya sistem güvenliği tehlikedeysen düşük elektrik kullanımını teşvik için tasarlanmış programlardır. DE, teşvik-tabanlı programlar ve zaman-tabanlı programlar olmak üzere iki temel kategori ve çeşitli alt gruplara ayrılmıştır.

Teşvik tabanlı DE programları genellikle endüstriyel tüketiciler için daha uygundur. Teşvik merkezli DE sözleşmeleri, normalde dağıtım programı ve büyük tüketicilere arasında vardır ve bu programların çoğu ağda sıkışıklığı azaltmak için ve enerji belirtilen düzeyine göre ayarlayıp tüketicilerin yükünü azaltıcı bir görev içerir [20].

C. Tek taraflı ihale piyasası

Bu piyasada tedarikçi şirketler ihaleye katılır ve tüketicilerin talebi piyasadaki fiyatlara bakılmaksızın ele alınır. Bu piyasa BIG jeneratörleri, yenilenebilir ve dizel destekli jeneratörlerden oluşmaktadır. Dizel jeneratörler genellikle destek olarak kullanılır, fakat kıyaslamak amacıyla ana jeneratör olarak ele alınmaktadır.

Şimdi $Q_1(p)$ kW değeri Teklif 3 tarafından pTL / kWh olarak üretilirse arz eğrisi şu şekilde ifade edilir.

$$Q_1(p) = \frac{p}{m_{s1}} = Q_{1slec} + Q_{1Th} \quad (1)$$

Burada, Q_{1slec} mikro türbin tarafından üretilen elektrik kW'dir. Q_{1Th} ise mikro türbin tarafından üretilen termal enerjidir, ki buda joul sabitini kullanarak elektrik yüküne çevrilir ve m_{s1} Teklif 3'in doğrusal arz eğrisinin açısıdır. Benzer bir şekilde, $Q_2(p)$ kW değeri Teklif 4 tarafından pTL / kWh olarak üretilirse arz eğrisi şu şekilde ifade edilir.

$$Q_2(p) = \frac{p}{m_{s2}} = Q_{2slec} + Q_{2Th} \quad (2)$$

Burada, Q_{2slec} yakıt hücresi sistemi tarafından üretilen elektrik kW'dir. Q_{2Th} ise yakıt hücresi tarafından üretilen termal enerjidir, ki buda joul sabitini kullanarak elektrik yüküne çevrilir, ve m_{s2} Teklif 4'in doğrusal arz eğrisine bağlıdır.

Aynı şekilde N tekliflerinin kombine arz eğrisi aşağıdaki şekilde olacaktır.

$$Q(p) = Q_1(p) + Q_2(p) + \dots + Q_N(p) \quad (3)$$

$$= \frac{p}{m_{s1}} + \frac{p}{m_{s2}} + \dots + \frac{p}{m_{sN}} \quad p \sum_{j=1}^N \frac{1}{m_{sj}}$$

PTF için (p^*) Talep, T 'de sabitlenirse: $Q(p^*) = T$ veya $T = p^* \sum_{j=1}^N \frac{1}{m_{sj}}$

Böylece,

$$p^* = \frac{T}{\sum_{j=1}^N \frac{1}{m_{sj}}} \quad (4)$$

(4)'te teklifçilerin yeterli üretim kapasitelerinde olduğu varsayılır. Eğer kapasite limiti ki buda minimum üretimde Q_{min} ile maksimum üretim Q_{max} arasındadır, belirlenirse o zaman bileşik arz eğrisi (3) aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$Q(p) = p \sum_{j=1}^N \frac{1}{m_{sj}} [U(Q - Q_{min}) - U(Q - Q_{max})] \quad (5)$$

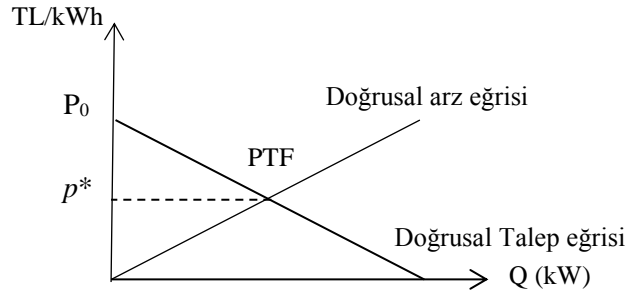
(5) için Talebi ' T ' ile dengelediğimizde, PTF (p^*) belirlenebilir.

D. Çift Taraflı İhale Piyasası

Bu piyasada, talep eğrisinin esnekliği hesaplanmıştır. Hem arz hem de talep eden tarafın verdiği teklifler denge fiyatını belirlemek için dikkate alınır. Fiyata bağlı hem doğrusal arz hem de talep değişkenleri analizde hesaplanmıştır. $T(p)$ 'yi, piyasa katılan tüketici sayılarının tekliflerinden elde edilen bileşik talep fiyatı (pTL/kWh) olarak belirleyelim, $T(p)$ aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$D(p) = \sum_{j=1}^N \frac{Po}{m_{dj}} - \sum_{j=1}^N \frac{P}{m_{dj}} \quad (6)$$

Şekil 3'de Doğrusal arz ve talep eğrisi gösterilmektedir. Burada p^* talep eğrisinin çıkışma noktasıdır ve buda tüketicinin türüne göre değişir. Eğer belirli bir fiyatta ise (p), $T(p)$ tüm katılan tüketiciler için toplam



Şekil 3. Doğrusal arz ve Talep eğrisine göre PTF

talep olarak hesaplanır:

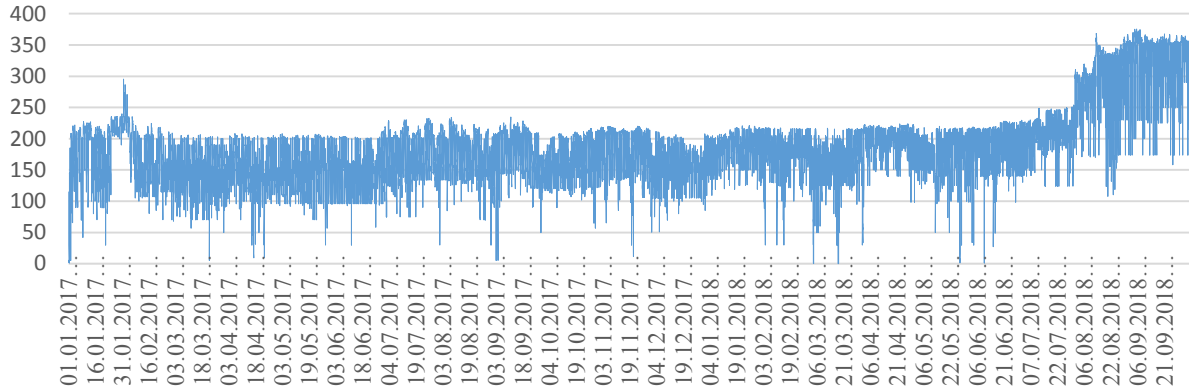
$$D(p) = \sum_{j=1}^N \frac{Po}{m_{dj}} - p \sum_{j=1}^N \frac{1}{m_{dj}} \quad (7)$$

PTF için (p^*)

$$p^* \sum_{j=1}^N \frac{1}{m_{sj}} = \sum_{j=1}^N \frac{Po}{m_{dj}} - p^* \sum_{j=1}^N \frac{1}{m_{dj}} \quad (8)$$

Böylece, PTF aşağıdaki ifade ile hesaplanır,

$$p^* = \frac{\sum_{j=1}^N \frac{Po}{m_{dj}}}{\sum_{j=1}^N \left(\frac{1}{m_{sj}} + \frac{1}{m_{dj}} \right)} \quad (9)$$



Şekil 4. 2017-2018 tarihleri arasında hesaplanan PTF değişimi

3. BULGULAR (RESULTS)

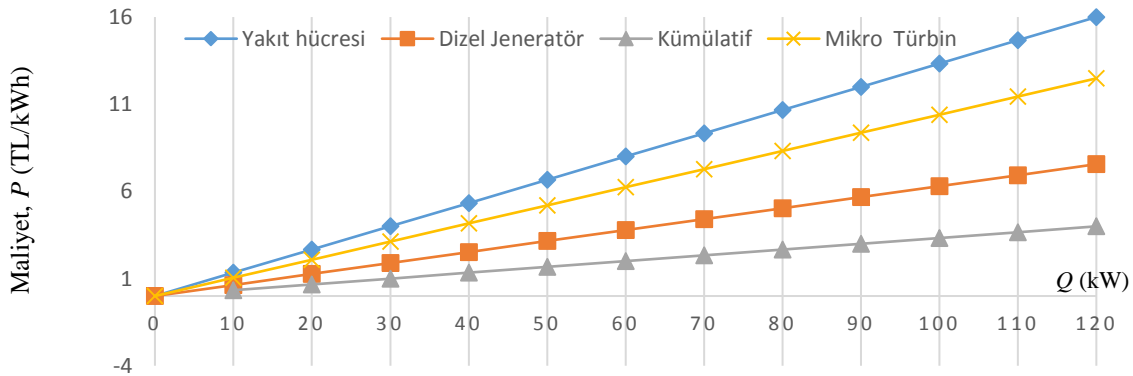
Düşünülen Mikroşebeke sistemi, 1.Teklif: Rüzgâr jeneratörü, 2.Teklif: Güneş PV, 3.Teklif: Mikro türbin, 4.Teklif: Yakıt hücresi ve 5.Teklif: Dizel jeneratörü üreticileri içerir. Bu Teklifler hakkındaki parametreler Tablo 2’de gösterilmektedir.

Durum 1: Sabit talep ile doğrusal arz teklifleri (tek taraflı teklif piyasası)

(1) Bu durumda, 80 kW sabit bir talep olarak kabul edilir. Analiz aşağıdaki durumlar için gerçekleştirilir: Yenilenebilir jeneratörler kullanılmaz olarak kabul edilir. Talep sadece BIG (Teklif 1 ve 2) jeneratörleri ve dizel jeneratörleri (Teklif 3) tarafından karşılanmaktadır. Teklif 1,2, ve 3 için bireysel ve kümülatif arz eğrileri Şekil 5’te gösterilmiştir.

Tablo 2: Durum çalışmasında kullanılan teklif parametreleri

Üreticiler	m_S (TL/kWh)	Q_{gmax} (kW)	Q_{gmin} (kW)
Teklif 4 (Rüzgâr Jeneratörü)	0.27	10	0
Teklif 5 (Güneş PV)	0.4756	20	0
Teklif 1 (Mikro türbini)	0.1056	30	Termal yükü sağlayan min. güç
Teklif 2 (Yakıt Hücresi)	0.1386	50	D_0
Teklif 3 (Dizel Jeneratörü)	0.063	60	0



Şekil 5. Teklif 1,2 ve 3 için bireysel ve kombine arz eğrisi.

PTF kümülatif arz eğrisi ile $Q=80$ kW değerinde çizilen dikey çizgisinin kesişim noktasından elde edilir. Bu durum için, $PTF=2,5$ TL/kWh olur. 80 kW talebi karşılamak için her jeneratör tarafından sağlanan güç Tablo 3’de gösterilir.

(2) Bu durumda, yenilenebilir jeneratörlerin üretimi 30 kW olarak kabul edilir ve teklif sürecine katılmazlar. Ayrıca hem rüzgâr hem de FV üretiminin gündüz boyunca kullanılabilir olduğu düşünülmektedir, bu durum sadece Teklif 1,2 ve 3 için toplam yüklemeyi 80 kW ‘tan 50 kW ‘a düşürür. Bu takdirde, PTF kümülatif

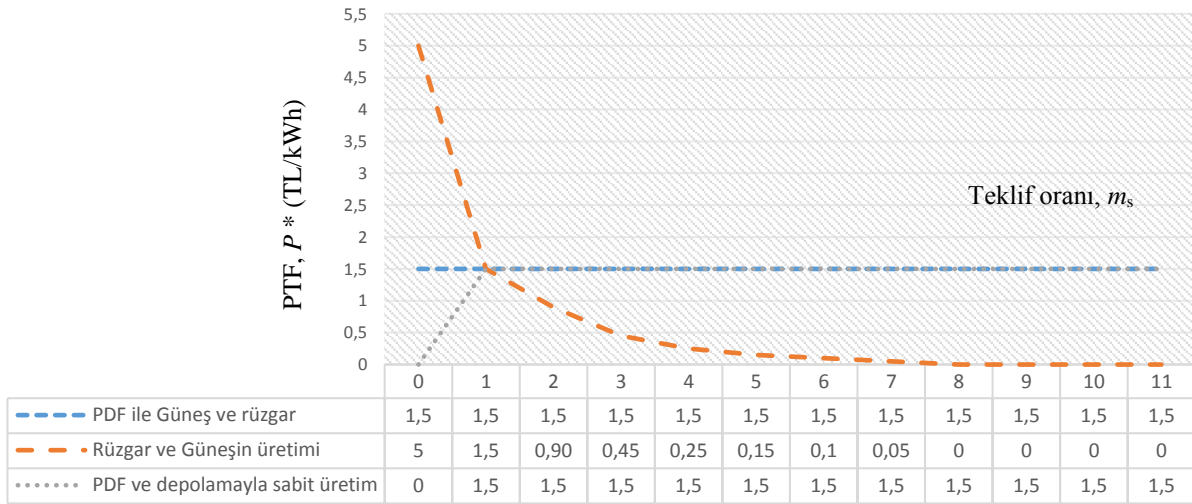
arz eğrisi ve $Q=50\text{kW}$ değerinde çizilen dikey çizgisinin kesişimin noktasından elde edilir. Bu durum için, $\text{PTF}=1,5\text{TL/kWh}$ olur. PTF düşürüldüğü için yenilenebilir enerjinin maliyetini kurtarmak mümkün olmayabilir ve ayrıca yenilenebilir enerjinin kullanılmaz olduğu süreçte aşırı maliyet oluşur. Böylece PTF $1,5\text{TL/kWh}$ olarak sabit olmalıdır. Ancak aşağıda gösterildiği gibi teklifçilerin üretimi azalacaktır

$$\Delta Q_i = \frac{\Delta p}{m_{sj}} \quad (10)$$

Tablo 3: Teklif arzı için sunulan üretim miktarı ve tutarı

Üreticiler	Üretici Üretimi (kW)	Ücret (TL)	Oran (TL/kWh)
Teklif 1 (Mikro türbini)	12,0	30	2,5
Teklif 2 (Yakıt Hücresi)	9,0	22,5	2,5
Teklif 3 (Dizel Jeneratörü)	24,0	60	2,5
Toplam	40,0	112,5	

(3) Bu durumda, yenilenebilir enerjinin teklif etkisi incelenmiştir. Hem rüzgâr hem de FV üretimi belirsizdir. Rüzgâr ve güneş panelleri ile birlikte PTF farklı teklif oranları (m_s) ile üretim varyasyonu Şekil 6’te gösterilmiştir, yani (i) sınırlı yenilenebilir enerji ve (ii) sınırsız yenilenebilir enerji. Sınırlı yenilenebilir enerji: Eğer yenilenebilir enerjinin teklifi $m_s=0$ ise, bu tamamen yüklenecek ve PTF $1,5\text{TL/kWh}$ olacaktır. Sınırlı yenilenebilir enerji üretimi Mikro şebekede depolama imkânından dolayı mümkündür.



Şekil 6. Talep sabit iken PTF ve üretime karşı teklif oranı eğrileri

Sınırsız yenilenebilir enerji: $m_s=1$ olduğunda PTF değeri sınırlı yenilenebilir enerji (örneğin 30kW) ile sınırsız yenilenebilir enerji için aynıdır. PTF için maksimum ve minimum değeri m_s 'ye göre kısmi türev alınarak (4) ile hesaplanabilir ve sonra sıfıra eşitlenir. Tablo 4'te 0 ile 10 arasında değişen m_s farklı değerlerine göre aşağıdaki iki seçenek için ödeme ve üretimi gösterir:

- (1) **Tercih 1:** 30 kW sabit yenilenebilir enerji üretimiyle, $m_s < 1$ olduğu zaman $\text{PTF}=1,5\text{TL/kWh}$
- (2) **Tercih 2:** m_s 1 ile 10 arasından olduğu zaman, PTF yenilenebilir enerji ve Teklif 1,2 ve 3 üretimi ile hesaplanır

Tablo 4. Teklifçilerin ödeme ve üretimi

Üreticiler	Üretim (kWh) ($m_s < 1$)	Ücret (TL) Tercih 1	Üretim (kWh) $1 < m_s < 10$	Ücret (TL) Tercih 2
Teklif 1 (Mikro türbini)	7	10,5	7	16,8
Teklif 2 (Yakıt Hücresi)	6	9	6	14,4
Teklif 3 (Dizel Jeneratörü)	12	18	22	28,6
Yenilenebilirler	15	22,5	15	36
Toplam	40	60	40	91

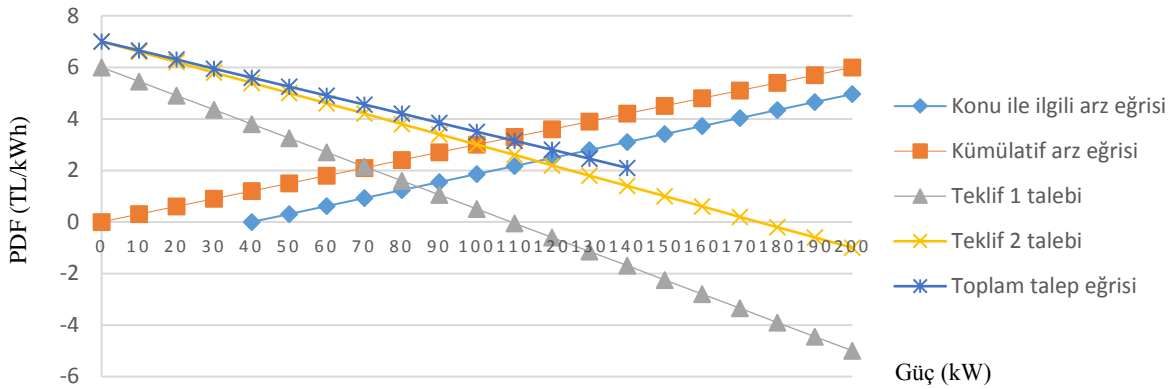
Durum 2: Doğrusal talep teklifi ile doğrusal arz teklifi (çift taraflı teklif piyasası)

Bu durumda, Şekil 7’te gösterildiği gibi iki tüketicinin ihale katıldığı kabul edilir. Tüketicilerin Teklif verileri Tablo 5’de verilmiştir. Talep için doğrusal teklif veri kabul edilmiştir. PTF, arz ve talep eğrilerinin kesiştiği noktada hesaplanır ve 3,4TL/kWh olarak tespit edilmiştir. Bireysel tüketicilerden gelen talep Şekil 7’den elde edilir. Kullanılmış veriler:

Teklif 1 talebi = 64 kW, Teklif 2 talebi = 46 kW, Toplam talep = 110W

Üretim sağlayıcıları Şekil 5 ve 7’de gösterildiği gibi tarifeye uygun olarak enerjiyi sağlayarak bu talebi karşılar:

Teklif 1 (mikro türbin) = 33 kW, Teklif 2 (Yakıt hücresi) = 26 kW, Teklif 3 (Dizel jeneratör) = 51 kW, Toplam üretim =110 kW



Şekil 7. Arz (kümülatif) ve talep (bireysel ve kümülatif) eğriler

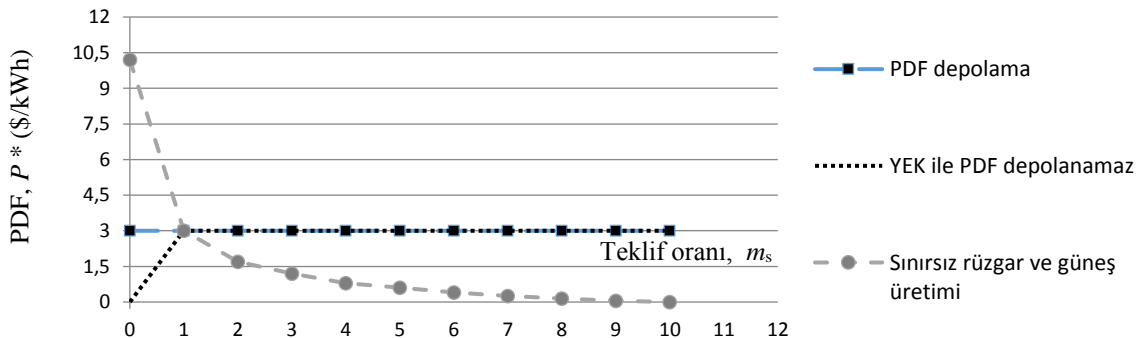
Tablo 5. Doğrusal teklif bilgisi

Tüketiciler	m_{dj} (TL/kWh/kW)	p_0 (TL/kWh)
Teklif 1 (Mikro türbini)	0.041	6.0
Teklif 2 (Yakıt Hücresi)	0.077	7.0

Eğer yenilenebilir enerji ihale sürecine katılmıyorsa, 30 kW olan bunların katkıları PTF 3TL/kWh için azalacak ve tüketicilerin tüketimi artacak. Teklif 1 = 72 kW, Teklif 2 = 52 kW, Toplam Talep = 127 kW

Şekil 7’den, yenilenebilir enerjilerin temini 30 kW iken, diğer üç teklif temini aşağıdaki gibi olacaktır: Teklif 1 (mikro türbin) = 23 kW, Teklif 2 (Yakıt hücresi) = 29 kW Teklif 3 (Dizel jeneratör) = 49 kW, Toplam üretim =101 kW

Şekil 8’den, yenilenebilir enerjinin teklif oranı 1.0’den daha az olduğunda 30 kW sınırlı yenilenebilir enerjinin PTF üzerinde herhangi bir etkisi yoktur. Teklif oranındaki artışla birlikte PTF artış olur, fakat yenilenebilir enerjiden sevk edilen elektrik daha azdır. Tablo 5’te PTF ücretleri gösterilmektedir.



Şekil 8. Talep değişken iken PTF ve üretime karşı teklif oranı eğrileri

Tablo 5. Farklı PTF için teklif ücretleri ve üretim

Üreticiler	Yenilenebilir Enerjisiz		Yenilenebilir Enerjili	
	Güç (kWh)	Ücret (3,4TL/kWh)	Güç (kWh)	Ücret (3TL/kWh)
Arz tarafı ücreti				
Teklif 1 (Mikro türbini)	33	112.2	23	69
Teklif 2 (Yakıt Hücre)	26	88.4	29	87
Teklif 3 (Dizel Jeneratörü)	51	173.4	49	147
Yenilenebilirler	0	-	30	90
Talep tarafı ücreti				
Teklif 1 (Mikro türbini)	64	217.6	76	228
Teklif 2 (Yakıt Hücre)	46	156.4	55	165
Toplam ücret	110	374.0	131	393

Yenilenebilir enerjinin Tekliflere dahil edilmesi sonucunda ücretinde toplamda düşüş yaşandığı izlenmektedir. Tekliflerde yaşanan artış sonucunda PTF belirgin bir artış gerçekleşir, fakat yenilenebilir enerjiden sevk edilen elektrik daha az olduğu izlenmektedir.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Elektrik piyasası ikili anlaşmalar ve/veya elektrik borsaları yoluyla düzenlenir. Elektriğin depolanamamasından ötürü, arz ve talebin dengede tutulabilmesi için, iki taraf arasında imzalanan ve sadece bu iki tarafça bilinen, fiyatların standart olmadığı ikili anlaşmalar yapılması gerekir. Elektrik borsası ise, elektrik için bir spot piyasa oluşmasını sağlar ve bir referans fiyat oluşmasını sağlar. Ancak Mikroşebeke sistemlerinde depolama imkânlarından dolayı arz talep dengesi mümkündür. Bu durum da elektrik piyasası için oldukça önemlidir. Bu çalışma, geleneksel olmayan ve geleneksel enerji kaynaklarının çeşitli kombinasyonlarında SMF ve PTF'nin karşılaştırmalı bir analizini sunmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakların belirsiz mevcudiyeti ile ticaretin yapılacağı gerçek SMF ve PTF bulmak zorlaşmaktadır. Bu yenilenebilir enerji kaynakları için, bir durumda, piyasaya mevcut ve ne zaman kullanılabilir olduğu göz önünde bulundurulmuştur. Ayrıca, bu üretim belirsizliğini ve ihaleye sorumlu katılımı yumuşatmak için depolama sistemine sahip bir durum düşünülmüştür. Hükümetin fiyat ve çevre dostu doğası ile ilgili sübvansiyonları, yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı için teşvik edici olsa da, hâlâ belirsizlik, geniş çaplı kullanımlarındaki ana zorluktur. Uygun ve şeffaf ticaret uygulamaları kazan-kazan durumu yaratabilir. Bu çalışma, piyasa araştırmacılarına yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşan mikro şebeke fiyatlandırma piyasası hakkında fikir sunmaktadır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] S., Saroha et. al, "Java based power trading simulator in electricity market", International journal of computer application, volume 44, no. 5 april 2012.
- [2] J.M. Guerrero, F. Blaabjerg, T. Zhelev, K. Hemmes, E. Monmasson, S. Jemei, M. P. Comech, R. Granadino, and J. I. Frau, "Distributed generation: Toward a new energy paradigm," IEEE Ind. Electron. Mag., vol. 4, no. 1, pp. 52–64, Mar. 2010.
- [3] N. D. Hatziargyriou, H. Asano, R. Iravani, and C. Marnay, "Microgrids," IEEE Power Energy Mag., vol. 5, no. 4, pp. 78–94, Jul. 2007
- [4] M. A. Lopez, S. Martin, J. A. Aguado, and S. de la Torre, "Marketoriented operation in microGrids using multi-agent systems," in Proc. 2011 Int. Conf. Power Eng., Energy and Electr. Drives (POWERENG), 2011, pp. 1–6.
- [5] K. T. Tan, P. L. So, Y. C. Chu, and M. Z. Q. Chen, "Coordinated control and energy management of distributed generation inverters in a microgrid," IEEE Trans. Power Del., vol. 28, pp. 704–713, 2013
- [6] A. Timbus, M. Larsson, and C. Yuen, "Active management of distributed energy resources using standardized communications and modern information technologies," IEEE Trans. Ind. Electron, vol. 56, no. 10, pp. 4029–4037, Oct. 2009.

- [7] Y. M. Atwa, E. F. El-Saadany, M. M. A. Salama, and R. Seethapathy, "Optimal renewable resources mix for distribution system energy loss minimization," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 25, no. 1, pp. 360–370, Feb. 2010.
- [8] S. Suryanarayanan, F. Mancilla-David, J. Mitra, and Y. Li, "Achieving the smart grid through customer-driven microgrids supported by energy storage," in *Proc. 2010 IEEE Int. Conf. Ind. Technol.*, pp. 884–890.
- [9] G. N. Bathurst, et al. "Trading wind generation in short term energy market"; *IEEE Trans. on power systems*, vol.17, no.3, pp782-789, Aug2002.
- [10] K. Khouzam, "Prospect of domestic grid connected pv systems under existing tariff conditions" 26th *IEEE pvsc*, Sept.30-oct.3, 1997
- [11] Martel, S. et al. "Avoided cost benefits of pv on diesel-electric grids", 24th *IEEE pv specialties conference proceedings*, 1994, pp 1048-1053
- [12] R. H. Lasseter, "Microgrids and distributed generation," *Journal of Energy Engineering*, vol. 133, pp. 144-149, 2007.
- [13] S. M. Omid Palizban, *Hybrid Systems Control, with Renewable Energy Sources*: German Academic Publishing, 2012.
- [14] J. Guerrero, et al., "Advanced Control Architectures for Intelligent MicroGrids, Part I: Decentralized and Hierarchical Control," 2013.
- [15] Y. Zoka, et al., "An economic evaluation for an autonomous independent network of distributed energy resources," *Electric Power Systems Research*, vol. 77, pp. 831-838, 2007.
- [16] A. K. Basu, "Microgrids: Energy management by strategic deployment of DERs—A comprehensive survey," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2011.
- [17] A. Sinha, et al., "Setting of market clearing price (MCP) in microgrid power scenario," in *Power and Energy Society General Meeting-Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008 IEEE*, 2008, pp. 1-8.
- [18] H. Kim and M. Thottan, "A two- stage market model for microgrid power transactions via aggregators," *Bell Labs Technical Journal*, vol. 16, pp. 101-107, 2011.
- [19] S. Chowdhury, et al., *Microgrids and active distribution networks*: Institution of Engineering and Technology, 2009.
- [20] L. Zhang, J. Zhao, X. Han, L. Niu; , "Day-ahead Generation Scheduling with Demand Response," *Transmission and Distribution Conference and Exhibition: Asia and Pacific, 2005 IEEE/PES* , vol., no., pp.1-4, 2005