



Elektrik Piyasasında Sanal Güç Santrali İşletiminin Optimizasyonu için Modelleme Önerisi

Offering Model for Optimization of Virtual Power Plant Operation in Electricity Market

Özge Pınar AKKAŞ*¹, Yağmur ARIKAN¹, Ertuğrul ÇAM¹

¹Kırıkkale Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 71451, Kırıkkale

Başvuru/Received: 2/10/2018

Kabul/Accepted: 26/12/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2018

Öz

Elektrik piyasalarının serbestleşmesi ve çevresel sorunların artması sebebiyle yenilenebilir üretime dayalı dağıtık enerji kaynakları, güç sistemlerinde önemli bir yere sahip olmuştur. Yenilenebilir enerji kaynaklarının (YEK) enerji piyasasında yer alması YEK sahipleri için ciddi bir zorluk oluşturmaktadır. Bunun temel nedeni, yenilenebilir enerji kaynaklarının güç çıkışlarının belirsizliğidir. Örneğin, rüzgâr güç santrallerinin (RGS) güç çıkışı rüzgâr hızına, güneş enerji santrallerinin (GES) güç çıkışı güneş ışınımına ve bulutlanmaya göre değişmektedir. Bu da uzun veya orta vadeli elektrik dağıtım sözleşmelerini yerine getirememeye riski taşımaktadır. Bu riski ortadan kaldırmak için, farklı türde yenilenebilir ve yenilenemeyen üretim birimleri ve depolama sistemleri birleştirilerek, elektrik piyasasında tek yönlü bir birim oluşturulur. Bu birim Sanal Güç Santralleri (SGS) olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada, gün öncesi piyasasında elektrik satarak veya satın alarak faaliyet gösteren bir SGS sahibinin maksimum kâr elde edebilmesi amacıyla saatlik işletim planlaması modellenmiştir. Çalışmada ele alınan SGS, rüzgâr güç santrali, güneş enerji santrali, konvansiyonel güç santrali ve bir enerji depolama sisteminden oluşmaktadır. Problem, karışık tamsayı doğrusal olmayan problem olarak formüle edilmiş, 24 saat zaman aralığı için uygulanmıştır ve GAMS yazılımında test edilmiştir. Önerilen yöntemin, gün öncesi piyasasında optimum satım/satın alma tekliflerini nasıl vereceği yönünde SGS sahibine yardımcı olacağı gösterilerek yöntemin uygulanabilirliği kanıtlanmıştır.

Anahtar Kelimeler

“Türkiye Elektrik Piyasası, Gün Öncesi Piyasası, Sanal Güç Santrali, GAMS”

Abstract

Distributed Energy Sources based on renewable generation have an important place in power systems due to liberalization of electricity markets and increase of environmental problems. The involvement of renewable energy sources (RES) in the energy market poses a serious challenge for RES owners. The main reason for this is the uncertainty about the power output of RES. For example, the power output of wind power plants (WPP) depends on the wind speed and the power output of solar power plants (SPS) depends on the solar radiation and clouds. This brings the risk of not meeting long-term or medium-term electricity delivery contracts. To remove this risk, a single-acting unit in electricity market is formed by combining different types of renewable and non-renewable generation units and storage systems. This unit is defined as Virtual Power Plants (VPP). In this study, an hourly operation scheduling is modeled to get maximum profit for VPP owner participating in day ahead market by selling or purchasing electricity. The VPP in the study consists of wind power plant, conventional power plant and energy storage system. The problem is formulated as a mixed-integer non-linear problem, applied for 24-hours time horizon and tested in GAMS software. The applicability of the method has been demonstrated by showing that the proposed method helps VPP owner about how to provide optimum sale/purchase bids in the day ahead market.

Key Words

“Turkish Electricity Market, Day Ahead Market, Virtual Power Plant, GAMS”

1. GİRİŞ

Yenilenebilir enerji kaynakları (YEK), temiz ve yenilenebilir olması gibi özelliklerinden dolayı son yıllarda modern dağıtım sistemlerinde çok sayıda yer almaktadır. Fakat bu kaynakların tek başına büyük ölçekli penetrasyonu olumsuz sonuçlara neden olabilmektedir. Çünkü rüzgâr ve güneş gibi güç çıkışı hava koşullarına bağlı olan kaynaklar, değişken üretime ve güç sisteminin belirsizliğine neden olur. Bu durumda değişken çıktıdan kaynaklanan problemleri çözmek için bu kaynaklar bir araya getirilmektedir. Rüzgâr türbini, PV paneli, yakıt hücresi ve diğer enerji kaynakları, enerji depolama sistemleri ve kontrol edilebilir yükler gibi dağıtık enerji kaynaklarının bir araya getirilerek bir enerji yönetim birimi tarafından yönetilmesi Sanal Güç Santrali (SGS) olarak tanımlanmaktadır.

SGS dağıtık enerji kaynaklarının verimli bir şekilde işletilmesi ile üretim şirketlerinin gelirleri artırılabilir. Ayrıca dağıtık enerji kaynaklarının kısıtlarını, üretim-tüketim dengesini ve iletim sistem kısıtlarını da göz önünde bulunduran geliştirilmiş bir kontrol sağlanabilir (Lazaroiu vd., 2015). SGS sahipleri, gün öncesi piyasasında enerji üreticisi veya tüketicisi olarak yer alarak gelirlerini arttırmayı hedeflerler. Bu amaçla elde edecekleri kârı maksimum yapacak şekilde piyasaya enerji satarlar veya daha sonra satmak için kullanmak üzere piyasadan enerji satın alırlar.

Son zamanlarda SGS ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar şu şekildedir. Kasaei vd., (2017) yaptıkları çalışmada, yenilenebilir enerji kaynakları, batarya enerji depolama ve yük kontrolünden oluşan SGS'nin optimum enerji yönetimine karar vermek amacıyla, meta-sezgisel algoritmalarından Emperyalist Rekabetçi Algoritmasını (Imperialist Competitive Algorithm) önermişlerdir. Kasaei vd., (2017) başka bir çalışmada ise meta-sezgisel algoritmalarından Teaching-Learning Based Optimization (TLBO) algoritmasını kullanmışlardır. Pandzic vd., (2013), yenilenebilir kaynaklar, depolama sistemi ve konvansiyonel güç sisteminden oluşan bir SGS için haftalık işletim planlamasını yapmışlardır. Problemi karışık tamsayı doğrusal programlama olarak modellemişlerdir. Zamani vd. (2016), sanal güç santralının hem enerji hem de rezerv piyasasında optimum enerji planlaması için bir olasılık modeli önermişlerdir. Sanal güç santralının işletimindeki belirsizliklerin modellenmesinde Nokta Tahmin Yöntemini kullanmışlardır. Al-Awami vd., (2016), gün öncesi piyasasında ve gerçek zamanlı piyasada yer alan bir sanal güç santralının gün öncesi teklif stratejisini optimize etmek için bulanık optimizasyon yöntemini önermişlerdir. Baringo (2017), gün öncesi piyasası ve gerçek zamanlı enerji piyasasında faaliyet gösteren bir sanal güç santralının teklif stratejisi için stokastik uyarlanabilir sağlam optimizasyon yaklaşımını önermişlerdir. Samakoosh vd., (2017), sanal güç santralının kısa dönemli enerji planlaması için Yapay Sinir Ağları tabanlı yeni bir metod önermişlerdir. Xia ve Liu (2016), sanal güç santralının optimum enerji planlamasını analiz ederken, rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji çıkışının belirsizliğini de göz önünde bulundurmıştır. Bunun için risk kuantizasyon yöntemini (CVaR) modele entegre etmişlerdir. Ferruzzi vd., (2016), gün öncesi enerji piyasasında optimum teklifi formüleştirmek ve yenilenebilir enerji üretiminin belirsizliğini hesaba katmak amacıyla risk yönetimini değerlendirmek için bir karar verme modeli sunmuşlardır.

2. PROBLEM FORMÜLASYONU

2.1. Amaç Fonksiyonu

Problemimizde amaç, elektrik piyasasında yer alan girişimcilerin yani üretim şirketlerinin elektrik satma veya satın alma tekliflerine göre kârlarını maksimum yapmaktır. Bunun için saatlik tekliflerini nasıl yapmaları gerektiği belirlenmektedir. Problemimizin amaç fonksiyonu Eşitlik 1'deki gibi gösterilebilir. Elde edilen kâr; gelir ve maliyetin farkından oluşmaktadır.

$$profit = \sum_t (revenue^t - cost^t) \quad (1)$$

Eşitlik 1'de profit; toplam kâr miktarını, revenue^t; t zamandaki gelir miktarını, cost^t; t zamandaki maliyeti göstermektedir.

t zamandaki gelir miktarı Eşitlik 2'de gösterildiği gibidir.

$$revenue^t = p(t) * G(t) \quad (2)$$

Eşitlik 2'de p(t); t zamandaki elektrik referans fiyatı, G(t); ise t zamandaki teklif verilen elektrik miktarıdır. Sonuç negatif ise elektrik satın alınmıyordur, pozitif ise elektrik satılıyordur.

t zamandaki maliyet Eşitlik 3'de gösterildiği gibidir.

$$cost^t = C_{conv}(t) + y_{conv}(t) * S_{conv} \quad (3)$$

Eşitlik 3'de C_{conv}(t); santralin üretim maliyetidir. y_{conv}(t); ikili değerdir, eğer ünite t zamanda yeni açılmış ise 1 değerini alır, değilse 0'dır. S_{conv}; ünitenin başlangıç maliyetidir.

$C_{conv}(t)$ Eşitlik 4’de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$C_{conv}(t) = (a * P_{conv}(t)^2 + b * P_{conv}(t) + c) * x_{conv}(t) \quad (4)$$

Eşitlik 4’de a,b,c; ünitenin maliyet katsayılarıdır. $P_{conv}(t)$; t zamanda ünitenin ürettiği güç miktarıdır. $x_{conv}(t)$; ikili değerdir, eğer ünite t zamanda elektrik üretiyor ise 1 değerini alır, değilse 0’dır.

2.2. Kısıtlar

Problemimizin kısıtları aşağıda sıralanmıştır.

$$1. x_{conv}(t) \in \{0,1\}$$

$$y_{conv}(t) \in \{0,1\} \quad (5)$$

$x_{conv}(t)$ ve $y_{conv}(t)$ ikili değerler olduğundan 0 veya 1 tamsayı değerini alabilirler.

$$2. P_{conv}^{min} * x_{conv}(t) \leq P_{conv}(t) \leq P_{conv}^{max} * x_{conv}(t) \quad (6)$$

Ünitenin ürettiği güç minimum ve maksimum üretebileceği güçler sınırına çıkmamalıdır. P_{conv}^{min} ; ünitenin üretebileceği minimum güç miktarı, P_{conv}^{max} ; ünitenin üretebileceği maksimum güç miktarıdır.

$$3. -ramp \leq P_{conv}(t) - P_{conv}(t-1) \leq ramp \quad (7)$$

Ünitenin bir önceki zamana göre üretim miktarındaki değişim rampa oranını aşmamalıdır.

$$4. x_{conv}(t) - x_{conv}(t-1) \leq y_{conv}(t) \quad (8)$$

Ünitenin açılıp açılmadığının kararı için bu eşitsizlik kullanılmalıdır.

$$5. P_{turbine}(t) \leq P_{turbine}^{max} \quad (9)$$

Pompaj depolamalı hidroelektrik santralde türbin çıkış gücü türbinin maksimum kapasitesini aşmamalıdır.

$$6. P_{pump}(t) \leq P_{pump}^{max} \quad (10)$$

Pompaj depolamalı hidroelektrik santralde pompa çıkış gücü pompanın maksimum kapasitesini aşmamalıdır.

$$7. storage(t) = storage(t-1) + P_{pump}(t) - P_{turbine}(t) \quad (11)$$

Her saat sonunda depolanan enerjiyi ifade etmektedir.

$$8. 0 \leq storage(t) \leq storage^{max}(t) \quad (12)$$

Depolanan enerji maksimum kapasitesini aşmamalıdır.

$$9. P_w(t) + P_s(t) + P_{conv}(t) + P_{turbine}(t) = G(t) + \frac{P_{pump}(t)}{\mu} \quad (13)$$

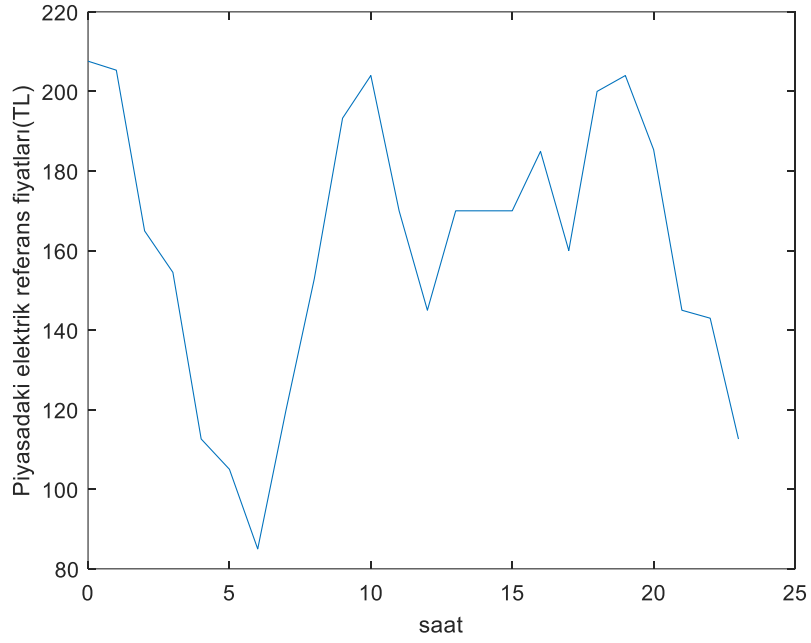
Enerji dengeleme denklemidir. Üretilen tüm enerjilerin toplamı, piyasada satılan elektrik ve pompaj depolamalı hidroelektrik santralin alt rezervuarındaki suyun pompalanması için kullanılan elektrik toplamına eşit olmalıdır. μ ; pompaj depolamalı hidroelektrik santralin verimlilik faktörüdür.

3. UYGULAMA

Bu çalışmada ele alınan SGS, rüzgâr enerji santrali, güneş enerji santrali, konvansiyonel güç santrali ve bir enerji depolama sisteminden oluşmaktadır. Problem, karışık tamsayı doğrusal olmayan problem olarak formüle edilip, 24 saat zaman aralığı için uygulanmıştır. Aynı günün saatlik güç çıkışları rüzgâr enerji santrali ve güneş enerji santrali için temin edilmiştir. Konvansiyonel güç santrali olarak termik santral ele alınmıştır. Enerji depolama sistemi olarak ise pompaj depolamalı hidroelektrik santral (PDHS) ele alınmıştır.

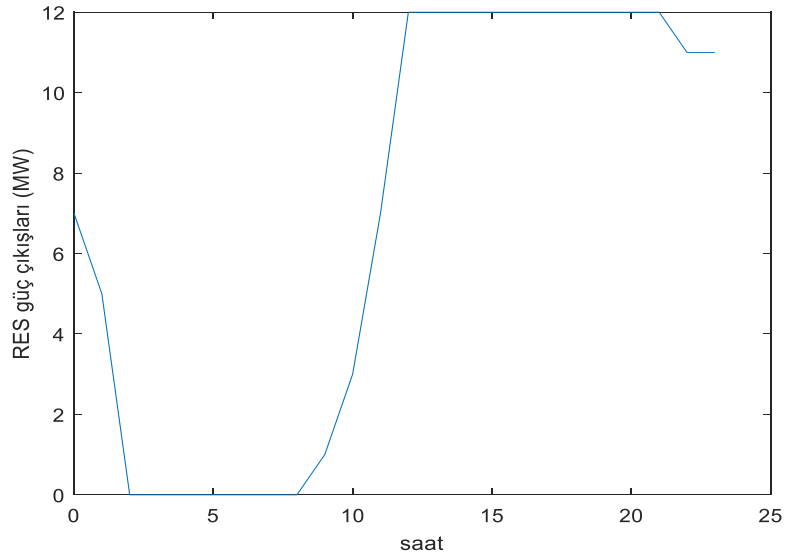
3.1. Veriler

Çalışmada uygulanan güne ait saatlik piyasadaki elektrik referans fiyatları Şekil 1’de verilmektedir (EPIAŞ).



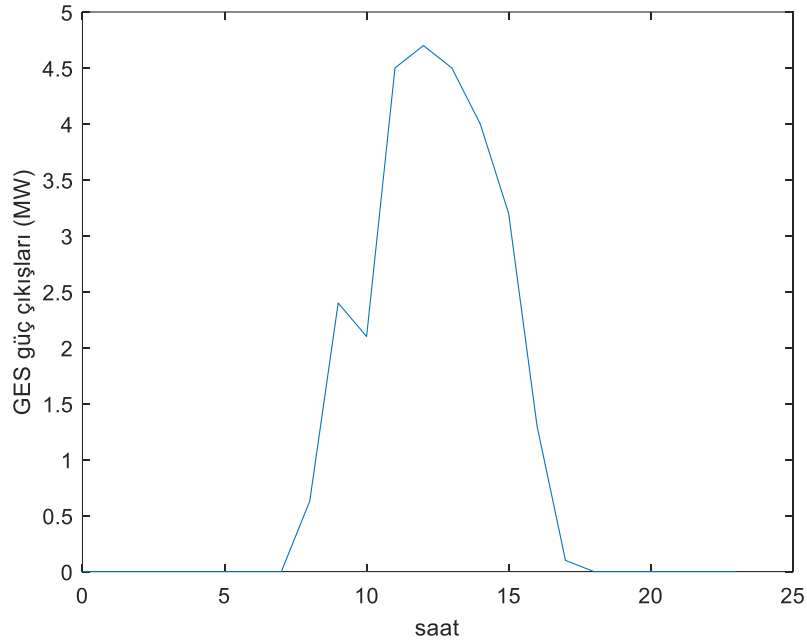
Şekil 1. Elektrik referans fiyatları

Aynı güne ait RES saatlik güç çıkışları Şekil 2’de verilmektedir.



Şekil 2. RES güç çıkışları

Aynı güne ait GES saatlik güç çıkışları Şekil 3’de verilmektedir.



Şekil 3. GES güç çıkışları

Termik santral bilgileri Tablo 1’de verilmektedir (Shayegan-Rad vd., 2017).

Tablo 1. Termik santral bilgileri

P_{min} (MW)	P_{max} (MW)	RUP (MW)	RDN (MW)	a	b	c	SUC
0	5	2	2	0.055	44.5	23.9	20

Pompaj depolamalı hidroelektrik santrale ait bilgiler Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 2. PDHS bilgileri

Maksimum türbin kapasitesi (MW)	Maksimum pompa kapasitesi (MW)	Maksimum depolama kapasitesi (MWh)	Verimlilik faktörü
10	8	40	0.70

3.2. Sonuçlar

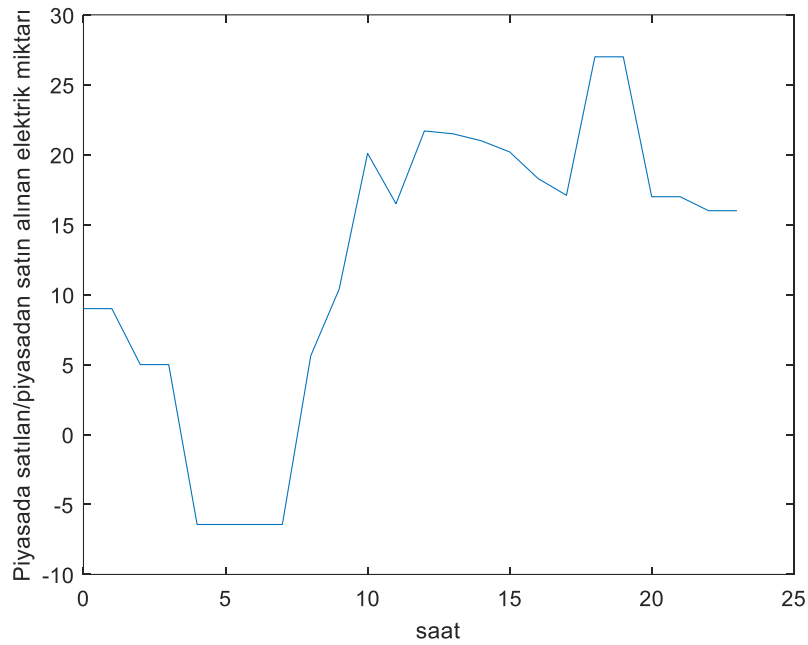
Bu çalışmada sunulan karışık tamsayı doğrusal olmayan optimizasyon problemi, GAMS 25.0.3 yazılımı ile modellenmiştir ve DICOPT çözücüsü ile çözülmüştür. Toplam kâr miktarı 47153.907 TL olarak bulunmuştur.

Tablo 3’de SGS’nin optimum işletimi gösterilmektedir. Buna göre; günün saat 5-8 zamanlarında piyasa katılımcısı elektrik satın almakta, diğer zamanlarda elektrik satmaktadır. Bunun nedeni 5-8 saatlerinde elektrik fiyatının düşük olmasıdır. Bu yüzden maksimum kâr için bu zamanlarda elektrik satışı yapmayıp satın almaktadır. Termik santral tam kapasitede çalışmaktadır yalnız 1 ve 2 zamanlarında rampa limiti kısıtından dolayı daha az üretim yapmaktadır. Yine elektrik fiyatının ucuz olduğu 5-8 saatlerinde PDHS pompa modunda çalıştırılarak elektrik enerjisi suyun potansiyel enerjisi olarak depolanmaktadır. PDHS, 10-11 saatlerinde türbin modunda çalıştırılarak elektrik enerjisi verilmektedir.

Tablo 3. SGS'nin optimum işletimi

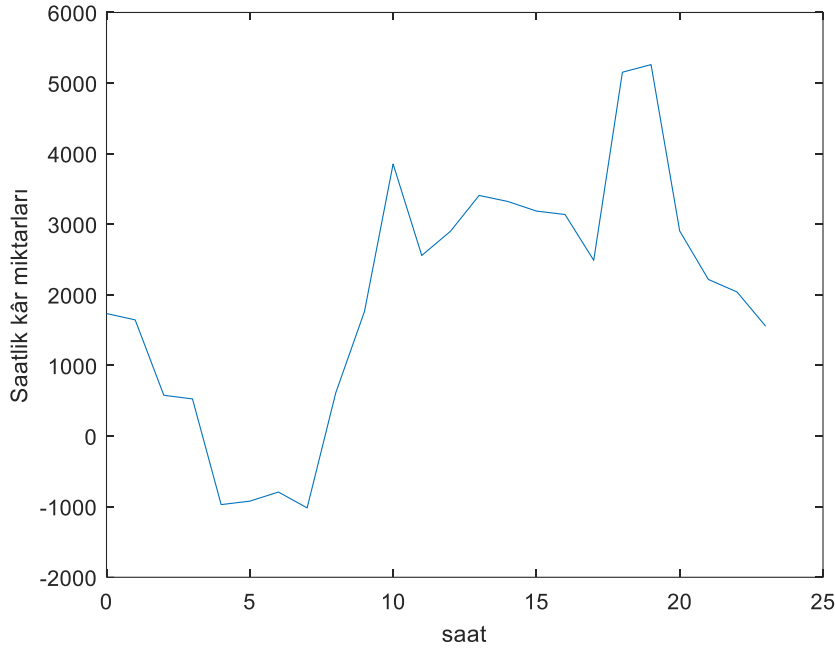
Saat	$P^{GÖP}(t)$	$P_{CPP}(t)$	$P_{pompa}(t)$	$P_{türbin}(t)$	Depolama(t)
1	9	2			
2	9	4			
3	5	5			
4	5	5			
5	-6.429	5	8		8
6	-6.429	5	8		16
7	-6.429	5	8		24
8	-6.429	5	8		32
9	5.630	5			32
10	10.40	5		2	30
11	20.10	5		10	20
12	16.50	5			20
13	21.70	5			20
14	21.50	5			20
15	21	5			20
16	20.20	5			20
17	18.30	5			20
18	17.10	5			20
19	27	5			10
20	27	5			
21	17	5			
22	17	5			
23	16	5			
24	16	5			

Piyasada satılan/piyasadan satın alınan saatlik elektrik miktarları Şekil 4'de gösterilmektedir.



Şekil 4. Piyasada satılan/piyasadan satın alınan saatlik elektrik miktarları

Saatlik kâr miktarları Şekil 5'de gösterilmektedir.



Şekil 5. Saatlik kâr miktarları

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, dağıtık enerji kaynaklarının güç sistemine entegre edilmesinde önemli bir yol olan sanal güç santralının gün öncesi piyasasında 24 saat zaman aralığı için optimum işletim planlaması üzerinde çalışılmıştır. Üretim şirketlerinin maksimum kâr elde edecek şekilde tekliflerini piyasada sunabilmeleri amacıyla problem modellenmiştir. Çalışmada ele alınan SGS; rüzgâr enerji santrali, güneş enerji santrali, konvansiyonel güç santrali ve pompaj depolamalı hidroelektrik santralden oluşmaktadır. Problem, karışık tamsayı doğrusal olmayan problem olarak formülleştirilip, GAMS yazılımında test edilmiştir. Önerilen yöntemin, gün öncesi piyasasına katılan SGS sahiplerinin teklif stratejilerini belirlemede yardımcı olacağı gösterilerek yöntemin uygulanabilirliği kanıtlanmıştır.

TEŞEKKÜRLER

Bu çalışma Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından (2018/009) nolu BAP projesi ile desteklenmiştir.

REFERANSLAR

Al-Awami, A. T., Amleh, N. A. & Muqbel, A. (2016). Optimal Demand Response Bidding and Pricing Mechanism with Fuzzy Optimization: Application for a Virtual Power Plant, 2016 Clemson University Power Systems Conference (PSC), 8-11 Mart 2016, Clemson, SC, USA. doi: 10.1109/PSC.2016.7462855

Baringo, A. & Baringo, L. (2017). A Stochastic Adaptive Robust Optimization Approach for the Offering Strategy of a Virtual Power Plant, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 32, No. 5, 3492-3504. doi: 10.1109/TPWRS.2016.2633546

Enerji Piyasaları İşletme A.Ş. (EPİAŞ)., <https://seffaflik.epias.com.tr/transparency/> (Erişim tarihi: 01.11.2018).

Ferruzzi, G., Cervone, G., Monache, L. D., Graditi, G. & Jacobone, F. (2016). Optimal bidding in a Day-Ahead energy market for Micro Grid under uncertainty in renewable energy production, Energy, 106(2016), 194-202. doi: 10.1016/j.energy.2016.02.166

Kasaei, M. J., Gandomkar, M. & Nikoukar, J. (2017). Optimal management of renewable energy sources by virtual power plant, Renewable Energy, 114(2017), 1180-1188. doi:10.1016/j.renene.2017.08.010

Kasaei, M. J., Gandomkar, M. & Nikoukar, J. (2017). Optimal Operational Scheduling of Renewable Energy Sources Using Teaching-Learning Based Optimization Algorithm by Virtual Power Plant, Journal of Energy Resources Technology, Vol. 139 / 062003. doi: 10.1115/1.4037371

- Lazaroiu, G. C., Dumbrava, V., Roscia, M. & Zaninelli D. (2015). Energy trading optimization of a Virtual Power Plant on electricity market, The 9th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering, 7-9 Mayıs 2015, Bükreş, Romanya. doi:10.1109/ATEE.2015.7133932
- Pandzic, H., Kuzle, I. & Capuder, T. (2013). Virtual power plant mid-term dispatch optimization, Applied Energy, 101(2013), 134-141. doi:10.1016/j.apenergy.2012.05.039
- Samakoosh, H. M., Ghasemi, J. & Kazemitabar, J. (2017). Optimized neural network based thermal and electrical scheduling of virtual power plant in the presence of energy storage, Journal of Renewable and Sustainable Energy, Vol. 9, 025903 (2017), doi: 10.1063/1.4979500.
- Shayegan-Rad, A., Badri, A. & Zanganeh, A. (2017). Day-ahead scheduling of virtual power plant in joint energy and regulation reserve markets under uncertainties, Energy, Volume 121, 114-125. doi: 10.1016/j.energy.2017.01.006
- Xia, Y. & Liu, J. (2016). Optimal Scheduling of Virtual Power Plant with Risk Management, Journal of Power Technologies, 96 (1) (2016), 49–56.
- Zamani, A. G., Zakariazadeh, A. & Jadid, S. (2016). Day-ahead resource scheduling of a renewable energy based virtual power plant, Applied Energy, 169(2016), 324-340. doi: 10.1016/j.apenergy.2016.02.011