

TÜRKİYE ELEKTRİK PİYASASINDA RÜZGAR ENERJİSİ

Mustafa ŞEKKELİ

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, K.Maraş,
msekkeli@ksu.edu.tr

Ceyhan YILDIZ

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, K.Maraş,
yl_cyildiz@ksu.edu.tr

Fatih KARİK

Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Ankara,
fkarik@yegm.gov.tr

Adnan SÖZEN

Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Ankara,
asozen@gazi.edu.tr

ÖZET

Rüzgar enerjisi yaygın kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarından birisidir. Ülkelerin destekleyici politikaları ve yatırım maliyetlerinin düşmesi rüzgar enerjisi kullanımını artırmıştır. Türkiye’de de elektrik şebekesine bağlanan rüzgar enerjisi santrallerinin (RES) sayısı her geçen gün artmaktadır. RES’lerin değişken ve kararsız üretim yapmaları bu santrallerin elektrik şebekesinde işletimini zorlaştırmaktadır. Santral sahipleri bir gün sonra üretecekleri enerji miktarı için garanti verememekte, sadece üretim tahmin değerlerini kullanarak bir üretim programı oluşturabilmektedirler. Gün öncesi elektrik piyasasında (GÖP) katılımcılar bildirdikleri üretim programından sorumludurlar. Piyasa mekanizması, bildirilmiş programdan sapan tesisleri cezalandırılmaktadır. Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları kullanımını arttırmak için Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması (YEKDEM) kapsamında başka bir elektrik piyasası da bulunmaktadır. YEKDEM piyasasında katılımcılar bildirdikleri üretim programından sorumlu değillerdir. Bu çalışmada Türkiye’de kurulmuş 14 adet RES için GÖP ve YEKDEM piyasalarında incelenmiştir. İncelemeler sonucunda, 2013 yılı verilerine göre 11 santralin GÖP piyasasında, 3 santralin YEKDEM piyasasında daha yüksek geliri olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Rüzgar enerjisi, elektrik piyasası.

WIND ENERGY IN TURKEY ELECTRICITY MARKET

ABSTRACT

Wind energy has widespread usage in renewable energy resources. Promoting policies of countries and decreasing in investment cost have increased the usage of wind energy. The number of wind power plants(WPP) connected to electrical grid increases day by day in Turkey. Variable and uncertain generations of WPPs are making difficult to operate these plants in electrical grid. Plant owners can not give guaranty for the amount of energy they are going to generate next day, they can only create a generation schedule by using generation forecast values. Participants are responsible for the generation schedule that they informed, in Day Ahead Electricity Market (DAM). Market mechanism penalizes facilities which deviate from informed schedule. There is an other electricity market in Turkey as a part of Renewable Energy Resources Promotion Mechanism (RESPM) to increase the usage of renewable energy resources. Participants are not responsible for the generation schedule that they informed, in RESPM market. In this study, 14 WPPs installed in Turkey are investigated in DAM and RESPM markets. As a result of investigations; it is seen that, according to 2013 data, in DAM market 11 plants, in RESPM market 3 plants have more income.

Keywords: *Wind energy, electricity market.*

1. GİRİŞ

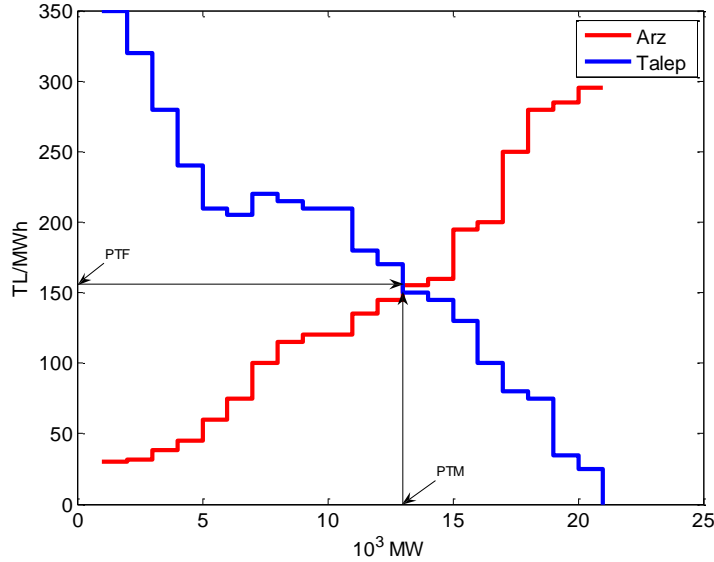
Son yıllarda ülkeler enerji konusunda dışa bağımlılıklarını azaltmak ve çevre dostu enerji kaynaklarına öncelik vermek gibi sebeplerle yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmişlerdir [1]. Yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar, bir enerji kaynağı olarak gün geçtikçe daha fazla miktarda kullanılmaktadır. Rüzgar-elektrik enerjisi dönüşümü bilindiği üzere rüzgar hızının üçüncü kuvveti ile orantılı olarak gerçekleşmektedir [2]. Bu ilişki sebebiyle rüzgar hızındaki küçük değişimler üretilen elektriksel enerjide büyük değişimlere yol açmaktadır. Rüzgar hızı dünya ölçekli meteorolojik modeller kullanılarak belirli hata aralıklarında tahmin edilebilmektedir [3]. Fakat tahmin edilen bu hız değerlerinden elektriksel enerji hesaplanırken kübik ilişki sebebiyle meteorolojik tahminlerdeki küçük hatalar enerji tahminlerinde oldukça büyük hatalara yol açmaktadır. Bu durum RES işleten firmaları GÖP'te zor duruma sokmaktadır. Çünkü GÖP'e dahil olan üreticiler bir gün sonra yapacakları üretimi piyasa sistemine bildirmekte ve bildirdikleri değerleri üretmekten sorumlu olmaktadır. Bildirdikleri değerde üretim yapamayan katılımcılar cezaya düşmekte ve sapmalar ile orantılı olarak ceza ödemek zorunda kalmaktadırlar. Santrallerin cezaya düşmemeleri ancak çok yüksek doğrulukta enerji üretim tahminlerinin yapılabilmesi ile mümkün olacaktır. Türkiye'de RES'ler GÖP mekanizmasından başka YEKDEM piyasasına da dahil olabilmektedir. YEKDEM piyasasına dahil olan santraller bir gün sonra yapacakları üretim tahminlerini sisteme bildirmekte fakat bildirdikleri üretim planından sorumlu tutulmamaktadırlar. Bu piyasa mekanizmasında üretilen enerji dolar üzerinden fiyatlandırılmakta dolar kurundaki değişimler üreticileri belirsiz bir gelir dalgalanmasına sürüklemektedir.

Bu çalışmada 14 adet RES, GÖP ve YEKDEM piyasalarında incelenmiş elde edilen gelirler kıyaslamalı olarak incelenmiştir. Bu makale yedi bölümden oluşmaktadır. Bölüm 1 Giriş'te rüzgar enerjisi ve elektrik piyasaları kısaca anlatılmıştır. Bölüm 2'de Türkiye'deki iki ayrı elektrik piyasası GÖP ve YEKDEM anlatılmıştır. Bölüm 3'te 14 adet RES üretimleri ve üretim tahminleri incelenmiştir. Bölüm 4'te RES üretimleri GÖP ve YEKDEM piyasalarında incelenmiştir. Bölüm 5 sonuçlar ve tartışmadan oluşmaktadır

2. TÜRKİYE ELEKTRİK PİYASASI

Türkiye GÖP ve dengeleme güç piyasası (DGP) 1 Aralık 2011 tarihinde faaliyete geçmiştir. Bu iki piyasa mekanizmasının devreye alınması Türkiye’de enerji piyasasının serbestleşmesi konusunda önemli bir adım olmuştur. Piyasa katılımcıları bu iki mekanizma ile kendi fiyat- üretim/tüketim tekliflerini oluşturabilmektedirler. Piyasada oluşan arz ve talep miktarlarına ve verilen fiyat tekliflerine bağlı olarak enerji fiyatları oluşmaktadır.

GÖP mekanizmasında katılımcılar saatlik fiyat-üretim/tüketim tekliflerini gün öncesinden sisteme bildirmektedirler. Verilen teklifler her saat için bir arz-fiyat eğrisi birde talep-fiyat eğrisi oluşturmaktadır. Arz-fiyat eğrisi oluşturulurken düşük fiyatlı teklifler eğrinin ilk elemanları olarak seçilir. Amaç düşük fiyatlı üretim tekliflerine öncelik vermektir. Talep-fiyat eğrisi oluşturulurken ise yüksek fiyatlı teklifler eğrideki ilk değerlerdir. Çünkü yüksek fiyat veren alıcılara öncelik verilmektedir. Şekil 1’de örnek arz-fiyat ve talep-fiyat eğrileri verilmiştir. Piyasa yazılımı arz ve talep eğrilerini kesiştirmekte ve bu kesişim noktasında piyasa takas fiyatı (PTF) ve piyasa takas miktarı (PTM) oluşmaktadır [4].



Şekil 1. Örnek arz talep eğrileri

Bir gün sonrası için bildirilen tekliflerin gerçekleştirilmesi durumunda üretimler PTF üzerinden fiyatlandırılacaktır. Bu durumda katılımcının gerçekleştirdiği üretimlerden elde edeceği gelir Eşitlik (1) ile hesaplanmaktadır. GÖP'te bildirilen teklifler her zaman gerçekleştirilememektedir. Örneğin fiyat-üretim teklifi veren bir katılımcı santralinde oluşan bir arıza sebebiyle bildirdiği üretimi gerçekleştirilememektedir yada fiyat-tüketim teklifi veren bir katılımcı tesisindeki arıza sebebiyle tüketim yapamayabilmektedir. Bu gibi durumlarda sistemde negatif yada pozitif yönde dengesizlikler oluşmaktadır. Oluşan bu dengesizlikleri gidermek için DGP işletilmektedir. DGP'de GÖP mekanizmasına benzer bir süreç işletilmektedir. Bu piyasaya da katılımcılar sistemde oluşan dengesizlikleri gidermek üzere teklifler vermektedir. Piyasa mekanizması teklifleri değerlendirmekte ve sonuç olarak sistem marjinal fiyatı (SMF) oluşmaktadır. GÖP katılımcıları da yapmadıkları üretim veya tüketimden dolayı cezalandırılmaktadır. GÖP katılımcılarının geliri eksik üretim yapmaları durumunda Eşitlik (2) ile fazla üretim yapmaları durumunda ise Eşitlik (3) ile hesaplanmaktadır.

$$G^g = \sum_{t=1}^{24} T\ddot{u}_t^g . PTF_t^g \quad (1)$$

$$G^g = \sum_{t=0}^{24} [T\ddot{u}_t^g . PTF_t^g - \max(PTF_t^g, SMF_t^g)(T\ddot{u}_t^g - G\ddot{u}_t^g)] \quad (2)$$

$$G^g = \sum_{t=0}^{24} [T\ddot{u}_t^g . PTF_t^g + \min(PTF_t^g, SMF_t^g)(G\ddot{u}_t^g - T\ddot{u}_t^g)] \quad (3)$$

GÖP ve DGP piyasalarından başka Türkiye'de YEKDEM kapsamında oluşturulmuş yenilenebilir enerji kaynaklarına özel bir piyasa daha bulunmaktadır. Bu piyasada da katılımcılar üretecekleri enerjiyi piyasa sistemine bildirmektedirler. Fakat katılımcılar bildirdikleri üretimi gerçekleştirmekten sorumlu tutulmamaktadır. Bu piyasada RES üretimleri 0.073 Dolar/kWh üzerinden ücretlendirilmektedir. Her ne kadar fiyat dolar bazında sabit olsa da dolar kurundaki dalgalanmalar piyasa katılımcıları için risk oluşturmaktadır. YEKDEM geliri Eşitlik (4) ile hesaplanabilmektedir.

$$G^g = \sum_{t=1}^{24} G\ddot{u}_t^g . 0.073(Dolar_t^g) \quad (4)$$

3.RÜZGAR ENERJİSİ ÜRETİMLERİNİN TAHMİNİ

Rüzgar enerjisini piyasa mekanizmalarında değerlendirmeden önce RES üretimlerini irdelemekte fayda vardır. Yukarıda rüzgarın değişken ve karasız bir enerji kaynağı olduğundan bu durumun RES işletiminde bazı problemlere sebep olduğundan bahsetmiştik. Rüzgar hızları ve yönleri her ne kadar değişken ve karasız olsalar da geliştirilen meteorolojik tahmin modelleri ile belirli doğruluklarda tahmin edilebilmektedir. Bu meteorolojik tahminler kullanılarak RES üretimleri için de tahminler yapılmaktadır. RES üretim tahminleri santral sahiplerine GÖP piyasasına teklif verme konusunda yardımcı olmaktadır. Ayrıca elektrik şebekesini işleten kuruluşlar da rüzgar enerjisi tahminlerini kullanarak bir gün sonrası için üretim planlamaları yapabilmektedir [5]. Bu çalışmada Türkiye’de işletilmekte olan 14 adet RES’e ait üretim ve üretim tahminleri incelenmiştir. Tüm veriler 2013 yılına ait 1 yıllık dönemi kapsamaktadır. Santrallerden alınan veriler Tablo 1 de özetlenmiştir.

Tablo 1. RES’lerden alınan değerler.

Santral Numarası	Rüzgar Hızı Ort. (m/s)	Kurulu Güç (MW)	Ortalama Normalize Tahmin Hatası (%)	Toplam Enerji Üretim (MWh)	Fizibilite Üretimi (MWh)
1	8.01	90	10.77	283425.02	310000.00
2	7.47	15	11.89	44484.17	52000.00
3	7.52	60	13.92	192999.02	180000.00
4	8.51	36	12.63	129901.03	150000.00
5	7.34	10.2	12.51	32748.62	35000.00
6	5.78	135	10.67	323648.17	500000.00
7	8.00	140.1	9.50	388295.19	405000.00
8	7.94	35	13.17	126597.40	120000.00
9	5.99	30	16.56	71848.43	88610.00
10	7.64	57.5	14.76	214029.99	220000.00
11	6.19	35	14.22	104111.84	113000.00
12	7.2	39.2	11.26	116003.28	128000.00
13	6.69	14.9	11.19	38167.75	40000.00
14	6.74	12	12.85	34025.56	38000.00

Santral sahibi firmaların isteği doğrultusunda tabloda tesis isimleri verilmemiştir. Tablodaki kurulu güç değerleri santrallerdeki türbinlerin toplam gücüne eşittir. Toplam enerji üretimi ve fizibilite üretimi bir yıllık değerlerin toplamından oluşmaktadır. Fizibilite üretimi santral projelendirilirken

hesaplanmış üretim değeridir. Toplam gerçekleşen ve fizibilite üretimleri kıyaslandığında bazı santrallerde bu değerlerin örtüşmediği görülmektedir. Bu durum santrallerin yanlış projelendirilmesinden veya işletme esnasında yaşanan aksaklıklardan kaynaklanabilmektedir. Rüzgar hızı ve tahmin hataları senelik ortalama değerlerdir. Tahminler bir sonraki gün için oluşturulmuş 24 saatlik değerlerdir. Tablodaki normalize hata değerleri gerçekleşen üretim ile tahmin edilen üretim arasındaki farkın mutlak değerinin santral kurulu gücüne bölünmesiyle elde edilmiştir. Eşitlik (5) normalize hata değerlerinin hesaplanmasında kullanılmıştır.

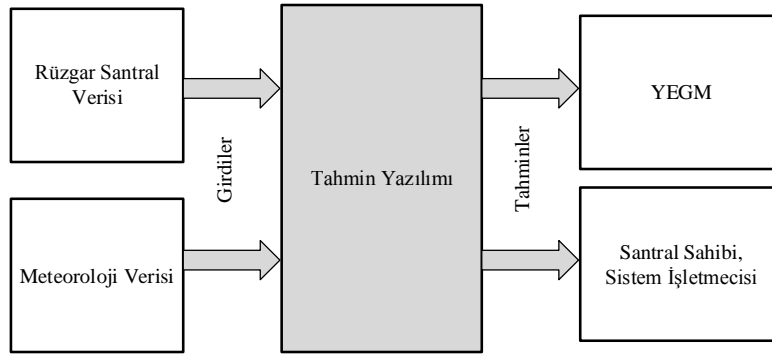
$$NMH_s^g = \frac{|Gü_s^g - Tü_s^g|}{Kg} \quad (5)$$

Üretim değerleri çok küçük olduğunda aslında santraller karasız üretim yapmaktadır. Örneğin 90 MW kurulu gücündeki bir santralin 1MW gücünde üretim yapması aslında santralin üretim yapmadığı sadece bir türbinin küçük bir rüzgar ile o anda çalıştığı anlamına gelmektedir. Böyle bir durumda tahmin edilen gücün 2MW olduğunu varsayarsak gerçekleşen güçten %100 oranda saptığı görülmektedir. Oysa 1MW'lık bir üretimin 90 MW kurulu gücündeki bir santral için çok düşük anlamsız bir değer olduğu açıktır. Bu sebeple tahmin hataları % olarak hesaplanırken hata değerleri kurulu güce bölünmüştür. Tahmin hatalarının senelik ortalama değerleri incelendiğinde değerlerin %9-17 aralığında kaldığı görülmektedir. Fakat hata değerleri anlık olarak incelendiğinde durumun böyle olmadığı anlaşılmaktadır. Kötü tahmin yapılan bir günde tahmin hatalarının günlük ortalaması %90'lara ulaşabilmektedir. GÖP teklifleri günlük olarak incelendiği için hataların piyasadaki etkisi ancak anlık irdelemeler ile yapılabilir. Bu ayrıntılı incelemeler ilerleyen bölümlerde yapılacaktır.

4. RES ENERJİ ÜRETİMLERİ VE ENERJİ ÜRETİM TAHMİNLERİNİN GÖP VE YEKDEM PİYASALARINDA ANALİZİ

Önceki bölümlerde Türkiye'de RES'lerin katılabileceği piyasa mekanizmalarından bahsetmiştik. Bu bölümde GÖP ve YEKDEM piyasalarında 14 adet RES üretimleri ayrıntılı olarak değerlendirilecektir. GÖP mekanizmasında katılımcılar bir sonraki gün için verdikleri tekliflerden sorumlu tutulmaktaydı. Bu

sebeple RES sahibi GÖP piyasası katılımcıları için rüzgar enerjisi üretim tahminleri teklif oluşturma konusunda oldukça önemlidir [6]. Çalışmada kullanılan tahmin ve üretim değerleri Rüzgar Enerjisi İzleme ve Tahmin Merkezinden (RİTM) alınmıştır. Merkezde 0-48 (kısa süreli tahmin) ve 0-6 (çok kısa süreli tahmin) saatler arası tahminler üretilmektedir. Tahmin algoritmasında kullanılan teknikler fiziksel ve istatistiksel yöntemlerin kombine edilmiş halidir. İstatistiksel yöntemde öğrenme yöntemleri olarak doğrusal regresyon, destek vektör makineleri ve yapay sinir ağları kullanılmaktadır. Tüm santral sahaları hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı ile modellenerek tahmin algoritmasında kullanılmıştır. Proje kapsamında MGM hava tahmini, Avrupa Ölçekli Orta Ölçekli hava tahmini, Küresel Tahmin Sistemi ve santral güç verileri girdi olarak kullanılmaktadır. Şekil 2’de genel yapı gösterilmektedir [7-10].



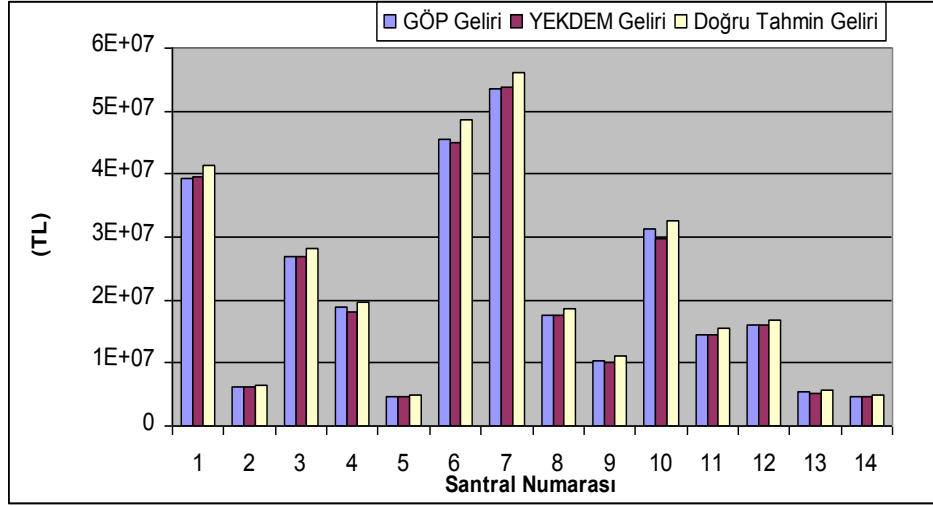
Şekil 2. RİTM Genel Mimarisi

Çalışmada incelenen 14 santralin 2013 enerji tahmin değerleri kullanılarak GÖP mekanizmasında incelenmek üzere günlük teklif setleri oluşturulmuş. Bir gün sonra üretilen enerjiler, teklif edilen üretim değerleri ve piyasada oluşan enerji fiyatları kullanılarak santrallerin GÖP gelirleri hesaplanmıştır. Hesaplamalar Eşitlik (1,2,3) kullanılarak yapılmıştır. GÖP piyasasında hiç tahmin hatası yapılmaması durumunda elde edilecek gelirler de ayrıca hesaplanmıştır. GÖP piyasasından başka bu santrallerin YEKDEM piyasasına katılması durumunda elde edilecek gelirler de Eşitlik (4) kullanılarak hesaplanmıştır. Tüm hesaplamalara ilişkin sonuçlar tablo 2 de özetlenmiştir.

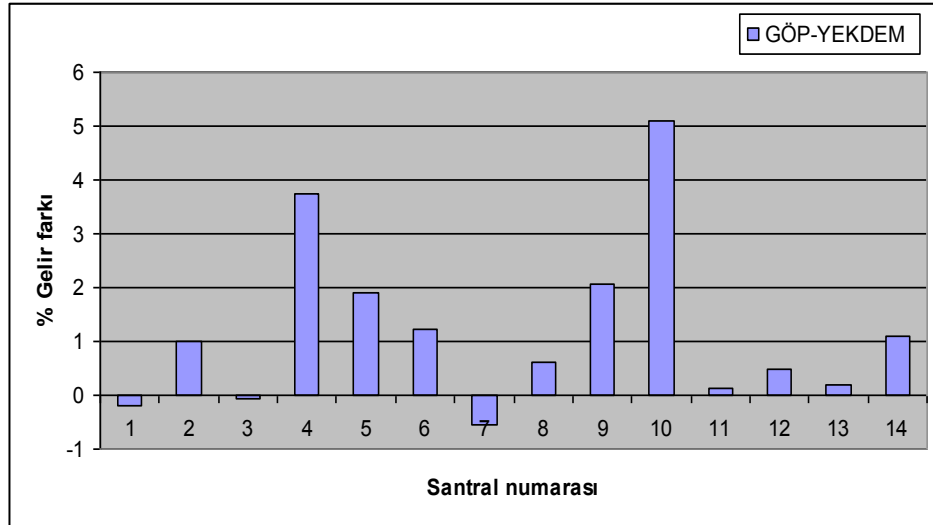
Tablo 2. RES'lerin piyasa gelirleri

Santral Numarası	GÖP Geliri (TL)	YEKDEM Geliri (TL)	GÖP-YEKDEM Geliri (TL)	Doğru Tahmin Geliri (TL)
1	39416600.55	39494629.97	-78029.42	41391077.73
2	6233875.01	6171980.62	61894.39	6549796.20
3	26790100.09	26803527.53	-13427.44	28261184.02
4	18844292.47	18140037.81	704254.66	19631741.01
5	4644666.84	4557013.65	87653.20	4844005.26
6	45589575.60	45034285.76	555289.84	48501893.07
7	53416028.00	53702531.68	-286503.68	56199218.48
8	17660460.52	17553097.90	107362.62	18543015.46
9	10236379.29	10026683.17	209696.12	11096206.89
10	31371441.05	29769816.54	1601624.51	32667570.60
11	14575648.22	14557783.98	17864.24	15425107.63
12	16110286.85	16031038.84	79248.01	16900619.20
13	5302614.35	5292590.41	10023.95	5572597.77
14	4749865.52	4697298.21	52567.31	5019524.69

Tablo 2'deki değerler kullanılarak Şekil 3 ve Şekil 4'teki grafikler oluşturulmuştur. Şekil 3' teki grafikte her santral için üç adet gelir değeri kıyaslanmıştır. Şekil 4 teki grafikte ise GÖP geliri toplamı ile YEKDEM arasındaki fark GÖP geliri toplamına bölünerek % değerler hesaplanmıştır.



Şekil 3. Piyasa gelirleri



Şekil 4. GÖP ve YEKDEM gelirlerinin farkı.

Böylece YEKDEM ve GÖP gelirleri hesaplanarak kıyaslanmıştır. Şekil 4'ten anlaşılacağı üzere 2013 yılı verilerine göre 14 santralden 11'inin GÖP piyasasındaki geliri daha yüksek çıkmıştır. Gelir farklarının %-1 ile %6 aralığında değiştiği de görülmektedir.

5.SONUÇ VE TARTIŞMA

Rüzgar enerjisi üretim tahminleri RES'lere GÖP piyasasında oyuncu olma şansı vermiştir. Çalışmada yapılan hesaplamalar sonucunda RES'lerin GÖP piyasasında YEKDEM piyasasına nazaran daha yüksek gelir elde edebilecekleri görülmüştür. Yatırımcılar açısından bakıldığında GÖP piyasasına katılmak daha avantajlı olabilecektir. GÖP piyasasında enerji fiyatlarının TL/kWh türünden ve öngörülebilir olması yatırımcılar açısından YEKDEM piyasasına göre bu piyasayı daha güvenilir hale getirmektedir. Çünkü YEKDEM piyasasında enerji fiyatları \$/kWh türünden hesaplanmakta ve gelir dolar kurundan doğrudan etkilenmektedir. Dolar kurları incelendiğinde 2013 yılından bugüne dolar kurunda büyük değişimler olmuş YEKDEM piyasasına katılan santraller bu durumdan büyük oranda etkilenmişlerdir. Dolar kurunun artışı RES sahibi firmaları YEKDEM piyasasına yönlendirmektedir. Fakat kurdaki belirsizlikler RES yatırımcıları için risk oluşturmaktadır. Yatırımcıların kur değişimlerinden etkilenmelerini azaltmak için GÖP piyasasının RES'ler için daha cazip hale getirilmesi gerekmektedir. GÖP piyasasında RES'lerin dengesizliklerinden dolayı daha az cezalandırılmaları ya da belirli bir aralıktaki dengesizliklerinden sorumlu tutulmamaları bu santraller için avantaj oluşturabilecektir.

Kısaltmalar

g: Gün
t: Saat
G: Gelir (TL)
G_ü: Gerçekleşen üretim (Wh)
K_g: Kurulu güç (W)
NMH: Normalize mutlak hata (%)
T_ü: Teklif edilen üretim (Wh)

KAYNAKLAR

1. Frondel, M., Ritter, N., Schmidt, C. M., & Vance, C., "Economic impacts from the promotion of renewable energy technologies: The German experience.", *Energy Policy*, 38(8): 4048-4056, 2010.
2. Sathyajith, M., "Wind energy: fundamentals, resource analysis and economics." *Springer Science & Business Media, Netherlands*, (2006).

3. Lei, M., Shiyan, L., Chuanwen, J., Hongling, L., & Yan, Z., "A review on the forecasting of wind speed and generated power." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(4): 915-920, 2009.
4. Kütaruk, K., "Day Ahead Markets", *Doktora tezi, Middle East Technical University*, 2013.
5. Pinson, P., Chevallier, C., & Kariniotakis, G. N., "Trading wind generation from short-term probabilistic forecasts of wind power." *Power Systems, IEEE Transactions on*, 22(3): 1148-1156, 2007.
6. Jonsson, T., Pinson, P., & Madsen, H., "On the market impact of wind energy forecasts.", *Energy Economics*, 32(2): 313-320, 2010.
7. RİTM Projesi, 2015. Mevcut: <http://www.ritm.gov.tr> (Erişim tarihi: 9 Haziran 2015).
8. Terciyanlı E., Demirci T., Küçük D., Saraç M., Çadircı I., Ermiş M., "Enhanced Nationwide Wind-Electric Power Monitoring and Forecast System", *IEEE Transactions On Industrial Informatics*, 10,(2), 2014.
9. Baris M. O., Karagoz P., "A Novel Wind Power Forecast Model: Statistical Hybrid Wind Power Forecast Technique (SHWIP)", *IEEE Transactions On Industrial Informatics*, 11(2), 2015.
10. Buhan S., Çadircı I., "Multi-Stage Wind-Electric Power Forecast by Using a Combination of Advanced Statistical Methods", *IEEE Transactions On Industrial Informatics*, PP,(99), 2015.