

Çok-Kaynaklı Yenilenebilir Enerji Mikro-şebekesinin Yönetim Simülasyonu

Management Simulation of Multi-Source Renewable Energy Microgrids

Burhan Baran, Mehmet Salih Mamiş, Barış Baykant Alagöz

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
İnönü Üniversitesi

burhanbaran@gmail.com, smamis@inonu.edu.tr, baykant.alagoz@inonu.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, atıktan enerji tesisi (AET), güneş ve rüzgar enerjisi santrallerinden oluşan dağıtık yenilenebilir enerji kaynakları ve pompaj depolamalı hidroelektrik santral (PHES) ünitesinden oluşan dağıtık depolama ünitesinin olduğu bir mikro-şebekenin yönetim simülasyonu sunulmuştur. Bu bağlamda Matlab ortamında geliştirilen simülasyon modellerinde farklı üretim ve tüketim senaryoları için enerji yöntemi simülasyonları yapılmış ve sonuçlar tartışılmıştır. Güçlü ve zayıf yenilenebilir enerji üretimi durumları için hem PHES'in olduğu hem de olmadığı durumlar ayrı ayrı incelenmiştir. Böylece, PHES'in olduğu ve olmadığı durumlarda mikro-şebekenin ana şebeke ile olan enerji alış-verişi oranları analiz edilmiş, mikro-şebekenin ana şebekeye olan bağımlılığı değerlendirilmiştir. Yönetim algoritması olarak şartlı akış kontrolü algoritması kullanılmıştır.

Abstract

In this study, we present a management simulation of microgrid composed of waste (EfW) plant, solar power and wind energy plants as renewable energy sources and a Pumped Hydroelectric Energy Storage (PHES) as distributed storage unit. In this manner, simulations were carried out for different production and consumption scenarios by using the simulation models developed in Matlab environment and the results are discussed. Strong and weak renewable energy generation states are considered at the presence and absence of PHES. Thus, we analyze energy dispatching rates of microgrid from transmission grid for the both presence and absence of PHES. Also, the dependence of microgrid to transmission grid is evaluated. A conditional flow control algorithm is employed for management algorithm.

1. Giriş

Ülkelerin enerji sektörleri, onların gelişmişlik düzeylerinin göstergelerinden biridir ve enerji gereksinimi nüfus sayısına bağlı değişkenliği ile yeryüzünün sosyo-ekonomik yapısına büyük etkileri olan bir parametredir. Dünyadaki elektrik enerji ihtiyacının % 60'ının konutsal elektrik tüketiminden kaynaklandığı tahmin edilmiştir [1]. Güneş enerjisi hem sınırsızdır hem de yaşadığımız çevre için temiz bir enerji kaynağıdır. Rüzgar enerjisi de yenilenebilir karakteristiğinden dolayı büyük bir öneme sahiptir. Atıktan Enerji'de (AE) bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak görülmektedir. Bu AE tesisleri akıllı şebekeler için dağıtık enerji jeneratörleri olarak değerlendirilebilir[3]. Çünkü, AE tesislerinin üretim potansiyelleri rüzgar ve güneşin üretim potansiyelleri ile

karşılaştırıldığında tahmin edilebilir üretimi ve ertelenebilir olması açısından da avantaj sunmaktadır[2]. Dağıtık yenilenebilir kaynakların elektrik şebekesine nüfuz etmesi enerji verimliliğini artırması yanında elektrik üretim ve dağıtım sürecinde sürdürülebilirliğe de katkılar sağlar. Ancak, yenilenebilir enerji kaynakların kesintili olmaları bunların hibrit (birlikte) olarak kullanılması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Hibrit enerji sistemlerinde, yenilenebilir enerji kaynaklarının verimli enerji üretim zamanlarında enerji akışının yönlendirilmesi, enerji depolama sistemlerinin (PHES v.b.) kontrolü ve talebin kesintisiz karşılanması için enerji yönetim ve kontrol sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır[4]. Özellikle yenilenebilir kaynakların dağıtık üretim için geleceğin akıllı şebekelerinde önemli rol oynaması beklenmektedir. Mikro-şebekeler konusu akıllı şebeke çalışmalarının en temel alt başlığı haline dönüşmüştür. Mikro-şebekenin çalışması üretim, depolama ve yük yönetim programlarını içeren mikro-şebeke enerji yönetim sistemi aracılığı ile gerçekleşmektedir. Mikro-şebeke enerji yönetim sistemi fotovoltaiik sistemler, rüzgar türbinleri ve yakıt hücreleri gibi çoklu jeneratörleri bulunan bir mikro-şebekede elektriksel yük taleplerini karşılaması ve talep-üretim enerji dengesini sürdürmesi beklenir. Enerji depolama sisteminin yenilenebilir kaynakların dalgalı üretimleri durumunda enerji fazlasını depolamak ve depolanan enerjiyi enerji üretiminin yetersiz olduğu durumlarda kullanıma sunarak şebekenin talep-üretim enerji dengesinin korunmasına yardım etmektedir[5].

2. Rüzgar, Güneş, AET ve PHES'in hibrit kullanımı

Tüm dünyada iklimi tehdit eden geleneksel fosil kaynakların hem çevreye olan zararları hem de tükenebilir olmasından dolayı özellikle rüzgar ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi son zamanlarda artış göstermiştir. Bunun yanında, bu enerji kaynaklarının batarya, PHES v.b. uygun depolama üniteleri ile desteklenmesi, kesintili üretim sağlayabilen yenilenebilir kaynakların daha verimli ve etkin kullanımına imkan sağlamıştır.

2.1. Güneş Santrali Modeli

Bir güneş hücresinin ideal eşdeğer devresi paralel bağlı bir diyot ile akım kaynağından oluşur. Devrenin çıkış terminalleri yüke bağlanır. İdeal olarak güneş hücresinin gerilim akım eşitliği şu şekilde tanımlanmıştır[6]:

$$I_{GP} = I_{ph} - I(e^{qV_{pv}/kT} - 1) \quad (1)$$

burada, I_{GP} güneş hücresinin çıkış akımı (A), I_{ph} foto akımıdır (A), I diyot ters saturasyon akımı (A), q elektron yükü = 1.6×10^{-19} (C), V_{pv} güneş hücresi çıkış gerilimi, k Boltzman sabiti= 1.38×10^{-23} (J/K) ve T hücre sıcaklığı (K)'dir.

$$P_{GP} = V_{GP} I_{GP} \quad (2)$$

burada, I_{GP} güneş hücresinin çıkış akımı (A), V_{GP} güneş hücresinin çalışma gerilimi (V) ve ise P_{GP} güneş hücresinin çıkış gücü (W)'dür.

Bu çalışmada simülasyonu yapılan güneş santrali için kullanılan güneş panelleri 200 W'lık maksimum çıkış gücü olan Kyocera 200GT'dir. Simülasyonda güneş enerji profili için Gebze ilçesinin temmuz döneminde ölçülen güneş ışıması değerleri için elde edilecek güç değerleri denklem 2 kullanılarak Çizelge 1'deki gibi elde edilmiştir.

Çizelge 1. Saatlik güneş ışıması ve Kyocera KC200GT güneş panelinin güç üretimi

Saat	Güneş Işıması (kWatt/m ²)	Güç Üretimi (Watt)	Saat	Güneş Işıması (kWatt/m ²)	Güç Üretimi (Watt)
00	0	0	12	0,66	132,21
01	0	0	13	0,63	126,20
02	0	0	14	0,55	110,17
03	0	0	15	0,44	88,143
04	0	0	16	0,32	64,104
05	0	0	17	0,18	36,058
06	0,08	16,026	18	0,04	8,0130
07	0,25	50,082	19	0	0
08	0,41	82,134	20	0	0
09	0,53	106,17	21	0	0
10	0,61	122,19	22	0	0
11	0,65	130,21	23	0	0

2.2. Rüzgar Santrali Modeli

Rüzgar hızına bağlı rüzgar çıkış gücünün modeli denklem 3'teki gibi tanımlanmıştır[7]:

$$P_w(t) = \frac{1}{2} \rho A_w V^3(t) C_p(\lambda, \theta) \quad (3)$$

burada P_w rüzgar türbininden üretilen güç (watt), ρ atmosferdeki hava yoğunluğu (kg/m), A_w rüzgar türbini kanadının enine kesit alanı (m²), V rüzgar hızı (m/sn) ve C_p rüzgar türbini enerji dönüşüm katsayısıdır.

Çalışmada Enercon E-33/330 (330 kW) rüzgar türbini model olarak kabul edilmiştir. Kullanılan rüzgar hızı verileri için Gebze ilçesine ait Ekim dönemi saatlik rüzgar hızı değerleri dikkate alınmıştır. Bu tarihlere ait dört günlük rüzgar hızı verileri "meteoprog"[8] adlı siteden alınmış olup, simülasyonlarda kullanılan rüzgar hızı verileri bu değerlerin ortalaması alınarak elde edilmiştir. Elde edilebilecek saatlik güç değerleri ise Çizelge 2'deki gibidir.

Çizelge 2. Baz alınan rüzgar hızı verilerine göre Enercon E-33/330 tipi rüzgar türbininden elde edilebilecek güç değerleri

Saat	Rüzgar hızı (m/s)	Enercon E-33 (kWatts)	Saat	Rüzgar hızı (m/s)	Enercon E-33 (kWatts)
00	4,5	21,85	12	5,75	48,75
01	4,5	21,85	13	5,75	48,75
02	4,5	21,85	14	6	55
03	4,5	21,85	15	6,25	64,25
04	4,25	17,75	16	6	55
05	4,25	17,75	17	6	55
06	4,5	21,85	18	6	55
07	4,75	25,93	19	5,75	48,75
08	4,75	25,93	20	5,25	36,25
09	5	30,00	21	5,25	36,25
10	5,25	36,25	22	5,25	36,25
11	5,5	42,5	23	5	30,00

2.3. Atıktan Enerji (AE) Santrali Modeli

AE yakma tesislerinin enerji üretim potansiyeli Kentsel Katı Atık (KKA) kütle miktarına bağlıdır. KKA'nın enerji içeriği modifiye Dulong denklemi kullanılarak tahmin edilmektedir [9,10]. Dulong denklemi C, H, O, N, S içeriğinden oluşan atık malzemelerin yanmasından elde edilen termal enerjiyi tahmin etmektedir. Yanıcıların yaklaşık kimyasal formülü $C_6H_{10.98}O_{3.54}$ olarak varsayılarak Rouf [10], ortalama bir enerji potansiyeli için Denklem 4'teki Dulong denklemini önermiştir ve KKA'dan üretilen kilogram başına elektrik;

$$UE [kWh / kg] = 0,01316 kWh / kg \quad (4)$$

olarak tahmin edilmiştir. Uygulamada, KKA'dan üretilen elektrik enerjisinin % 30'nun AE tesisinin kendi tüketimi, bakım ve atık yönetim sisteminin güç gereksinimleri için harcandığını varsayılırsa, AE yakma tesisinden şebekeye verilen elektrik enerjisi her M_a kilogram atık için denklem 5 ile tahmin edilebilir.

$$P_n [kWh] = 0,01316 M_a * \%70 = 0,0092120 M_a \quad (5)$$

2.3.1. Simülasyonu Yapılan Kasabada için AE Tahmini

TÜİK'ten alınan 2010 yılı nüfus verilerine göre kişi başına günlük KKA üretimi 1,14 kg [11] olup, kişi başına yıllık ortalama KKA üretimi 416,1 kg olarak elde edilir. Bu değer denklem 5'te yerine konursa denklem 6 elde edilmektedir [3]:

$$P_n [kWh] = 0,0092120 n_a N = 3,83 N \quad (6)$$

burada 3,83 sabiti kişi başına yıllık AE potansiyelini göstermektedir. Buna göre, simülasyonu yapılan 50.000 nüfuslu kasabada oluşacak atık miktarlarına göre üretililecek saatlik elektrik miktarı:

$$P_n [kWh] \approx 0,022 MWh \quad (7)$$

olarak tahmin edilmiştir.

2.4. PHES Modeli

Üst rezervuar, alt rezervuar, su pompası, türbin, yönetim servisi ve iletim hattı PHES'lerin ana bileşenleridir. Su kütlesinin pompa aracılığı ile üst rezervuara transfer edilmesi ile elektrik enerjisi potansiyel enerjiye dönüştürülmektedir. Su kütlesinin alt rezervuara doğru düşüşü ise su kütlesinin sahip

olduğu potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüşmesini sağlamaktadır. Su kütlesinin kinetik enerjisi türbin ve jeneratör kombinasyonu tarafından elektrik enerjisine dönüştürülmektedir.

Üst rezervuardaki su kütlesi hacminin değişiminin su artışı ve su azalışına (Δv) bağlı olduğu varsayılır ise, pompalama modunda, üst rezervuardaki su hacminin değişimi için [12]:

$$\Delta v = \frac{\eta_p E_{inp}}{d_s gh} \quad (8)$$

yazılabilir. Burada, d_s suyun yoğunluğu, h üst rezervuarın türbin seviyesinden yüksekliği, E_{inp} PHES'e gönderilen giriş enerjisi, η_p pompalama sistemi enerji dönüşüm verimi, g parametresi yerçekimi ivmesidir ve $9,81 \text{ m/s}^2$ olarak alınmıştır. Üretim modunda ise, üst rezervuardaki su hacminin değişimi ise [12]:

$$\Delta v = \frac{E_{out}}{\eta_g d_s gh} \quad (9)$$

şeklinde ifade edilebilmektedir. Burada η_g türbin+jeneratör sistemi enerji üretim verimidir.

Simülasyon çalışmasında PHES'in üst rezervuar hacminin 50.000 m^3 , minimum üretim hacminin 5.000 m^3 , türbin+jeneratör üretim verimi ve pompa sistemi verimleri 0,9 ve üst rezervuarın alt rezervuardan yüksekliği ise 100 m olarak kabul edilmiştir.

2.5. Yük Modeli

Simülasyonu yapılan kasabada toplam yük için 10.000 hane, 1 hastane ve 10 okul varsayılmıştır. Bu yükler tarafından oluşturulan güç tüketiminin saatlik değerleri Çizelge 3'teki gibi olmaktadır.

Çizelge 3. Kasaba için toplam saatlik güç tüketimi

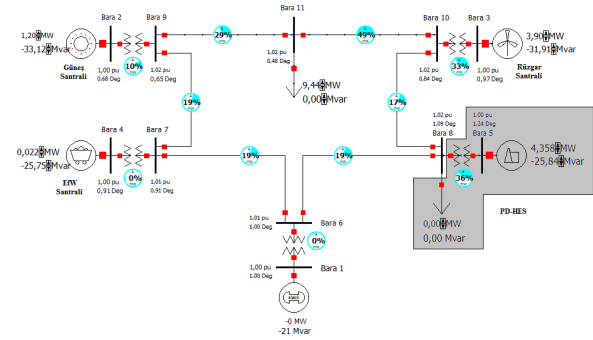
Saat	10.000 hane (MW)	10 Okul (MW)	1 Hastane (MW)	Toplam (MW)
00-01	0,82	0,12	0,08	1,02
01-02	0,82	0,13	0,07	1,02
02-03	0,82	0,12	0,07	1,01
03-04	0,82	0,13	0,07	1,02
04-05	0,82	0,17	0,07	1,06
05-06	0,82	0,19	0,07	1,08
06-07	0,82	0,26	0,08	1,16
07-08	1,57	0,35	0,08	2,00
08-09	0,57	0,60	0,09	1,26
09-10	0,57	0,79	0,11	1,47
10-11	2,57	0,85	0,12	3,54
11-12	7,57	0,87	0,12	8,56
12-13	7,57	0,81	0,12	8,5
13-14	1,57	0,75	0,13	2,45
14-15	0,57	0,70	0,13	1,40
15-16	0,57	0,70	0,12	1,39
16-17	0,57	0,55	0,12	1,24
17-18	0,57	0,46	0,12	1,15
18-19	3,57	0,35	0,11	4,03
19-20	6,07	0,28	0,10	6,45
20-21	8,07	0,25	0,09	8,41
21-22	8,07	0,22	0,09	8,38
22-23	4,07	0,18	0,08	4,33
23-00	4,07	0,16	0,08	4,31
Toplam	63,93	9,99	2,32	

3. Enerji Yönetimi

Bu çalışmada güneş ve rüzgar santrali birincil, AET ikincil enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Günümüz tüketicilerinin tüm enerji talebini karşılamak üzere KKA üretimine bağlı AE üretiminin yeterli olmamasından dolayı AET'ler birincil kaynak olarak çalıştırılmamaktadırlar. Yenilenebilir enerji kaynakları, PHES ve yük arasındaki yönetim için şartlı akış kontrolü (Conditional Flow Control) algoritması kullanılmıştır.

4. Simülasyon Çalışmaları

Çalışma kapsamında IEEE 9 baralı test sisteminin modifiye edilmesi suretiyle Şekil 1'deki mikro-şebeke tasarlanmıştır.



Şekil 1: Simülasyonu yapılan mikro-şebeke yapısı

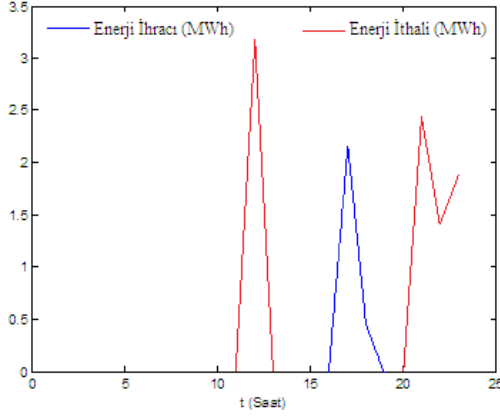
Simülasyon çalışmaları yapılan kasaba için iki farklı durum incelenmiştir. Bunlar (i) yenilenebilir enerji üretiminin talebi büyük oranda karşıladığı güçlü üretim durumu ve (ii) yenilenebilir enerji üretiminin talep edilen enerjiyi tamamen karşılayamadığı zayıf üretim durumudur.

4.1. Güçlü Durum

Güçlü durum simülasyonu için kasabada 6.000 adet güneş panelinden oluşan bir güneş santrali, 80 adet rüzgar türbininden oluşan bir rüzgar santrali, denklem 7 ile elde edilen saatte 0,022 MWh elektrik enerjisi veren bir AET, maksimum 50.000 m^3 kapasiteli bir PHES ve saatlik enerji talebinin değişebildiği varsayılan 10.000 hane, 10 okul ve 1 hastaneden oluşan 50.000 nüfuslu bir kasaba yük olarak varsayılmıştır.

4.1.1. Güçlü Üretim Durumu ve PHES Devrede

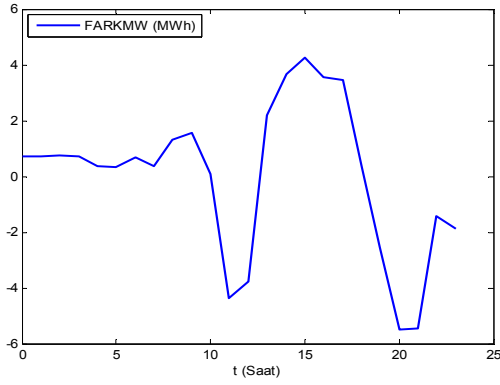
Bu senaryoda, yenilenebilir enerji üretimi fazla ve PHES devrededir. Şekil 2'de mavi renkli grafik PHES'in tamamen dolu olmasından dolayı, mikro-şebekede üretilen fazla yenilenebilir enerjinin iletim hattı ile ihraç edildiği miktarları göstermektedir. Özellikle, saat 17:00 ve 18:00 arasında dışarıya enerji satışı yapıldığı görülmektedir. Kırmızı renkli grafik ise dışardan iletim hattı ile mikro-şebekeye enerji ithalinin yapıldığı anları göstermektedir. Bu zamanlarda, lokal yenilenebilir enerji kaynakları ve PHES talebi karşılamada yetersiz kalmıştır.



Şekil 2: PHES'li güçlü durum için şebeke ile enerji alış-verişi saatleri ve değerleri

4.1.2. Güçlü Üretim Durumu ve PHES Devre Dışı

PHES'in kullanılmadığı duruma karşılık gelir. Bunun sonucu olarak, üretim ile talep arasındaki farkın pozitif olması durumunda üretim fazlası dışarıya ihraç edilir, negatif olması durumunda ise enerji eksikliği iletim hattı ile dışarıdan sağlanır. Bu durum Şekil 3'teki gibidir.



Şekil 3: PHES'siz güçlü durumda saatlik toplam üretilen ve talep edilen enerjiler arasındaki fark değerleri

Bu sonuçlar doğrultusunda güçlü durumda PHES'in olup olmamasının ana şebekeye olan bağımlılığı nasıl etkilediğini incelemek için şebekeye bağımlılığı toplam enerji alış-verişi ile değerlendirilmelidir. Buna göre PHES'in olduğu durumlarda toplam enerji alış veriş, iletim hattından alınan enerji ile iletim hattında verilen enerjinin toplamından elde edilecektir. PHES'in olduğu durumlarda toplam enerji alış-verişi:

$8,917 \text{ MW} + 2,440 \text{ MW} = 11,357 \text{ MW}$ olarak elde edilir.

PHES'in olmadığı durumlarda toplam enerji alış-verişi:

$24,916 \text{ MW} + 25,230 \text{ MW} = 50,146 \text{ MW}$ olarak elde edilir.

Bu sonuçlara göre PHES'li durumda günlük olarak iletim hattından toplam enerji alış-verişi 11,357 MW iken, PHES'siz durumda bu değer 50,146 MW'a yükselmektedir. Bu değerler PHES'in olmasının iletim hattına olan bağımlılığı oldukça düşürebildiğini göstermektedir. Bu bağımlılığın PHES'li durumda PHES'siz duruma göre % kaç oranında azalttığı ifade edilecek olursa:

$$\frac{\text{ToplamEnerjiAlisVerisi(PHES'siz)} - \text{ToplamEnerjiAlisVerisi(PHES'li)}}{\text{ToplamEnerjiAlisVerisi(PHES'siz)}} =$$

$$= (50,146 - 11,357)/50,146 = 38,789/50,146 = 0,774$$

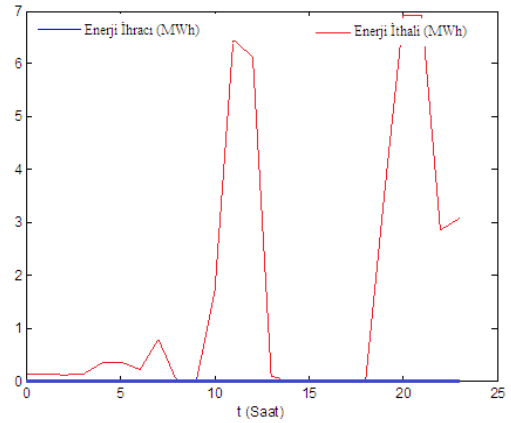
elde edilir. Bu simülasyonda, güçlü üretim durumunda mikro-şebekede PHES'in olmasının şebekeye olan bağımlılığı % 77,4 oranında azaltabildiği görülmüştür.

4.2. Zayıf Durum

Zayıf üretim durum simülasyonu için kasabada 3000 adet güneş paneli, 40 adet rüzgar türbini, denklem 7 ile elde edilen saatte 0,022 MWh elektrik enerjisi veren AET, maksimum 50.000 m³ kapasiteli bir PHES ve saatlik olarak değişken talepli 10.000 hane, 10 okul ve 1 hastaneden oluşan 50.000 nüfuslu kasaba yük olarak varsayılmıştır.

4.2.1. Zayıf Üretim Durumu ve PHES Devrede

Bu senaryoda, yenilenebilir enerji üretimi az ve PHES devrededir. Burada, yenilenebilir enerji üretimi talebi aştığında PHES depolama yapmakta, yetersiz kaldığında ise mikro-şebeke PHES'te depolanan enerji ile desteklenmektedir.

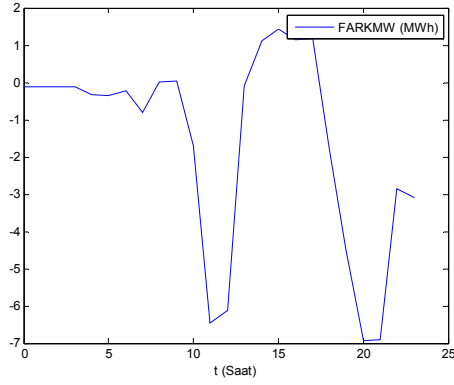


Şekil 4: PHES'li zayıf durum için şebekeye enerji verilen saatler ve değerleri

Şekil 4'teki mavi renkli grafiğin sıfır civarında kalması PHES'in tamamen dolmadığını ve dolayısı ile fazla enerjinin dışarıya ihraç edilmediğini göstermektedir. Bunun sebebi, çoğunlukla talebin üretimden fazla olması veya üretimin talepten fazla olması durumlarında da fazla enerjinin PHES'in maksimum seviyesine ulaşacak kapasitede olmamasıdır. Kırmızı renkli grafik ise dışarıdan iletim hattından enerji ithal edildiği anları göstermektedir. Bu zamanlarda, yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimi ve PHES'de depolanan enerji anlık talebi karşılamada yetersiz kalmış ve dışarıdan enerji alımına ihtiyaç duyulmuştur.

4.2.2. Zayıf Üretim Durumu ve PHES Devre Dışı

PHES'in kullanılmadığı duruma karşılık gelir. Bu nedenle fazla üretim ihraç edilir ve karşılanamayan talep için dışarıdan enerji alınır. Şekil 5'de simülasyon sonucu sunulmuştur. Burada üretim ile talep arasındaki farkın pozitif olması durumunda dışarıya enerji ihraç edilmiştir, negatif olması durumunda ise dışarıdan enerji alımı olmaktadır.



Şekil 5: PHES'siz zayıf durumda saatlik toplam üretilen ve talep edilen enerjiler arasındaki fark değerleri

PHES'lerin mikro-şebekenin dışarıya bağımlılığını nasıl etkilediğini değerlendirmek için enerji bağımlılığı dışarı ile toplam enerji alış-verişi ile değerlendirilmiştir. PHES'in olduğu durumlarda toplam enerji alış-verişi: $39,823 \text{ MW} + 0 \text{ MW} = 39,823 \text{ MW}$ olarak elde edilir. PHES'in olmadığı durumlarda toplam enerji alış-verişi: $42,650 \text{ MW} + 5,080 \text{ MW} = 47,730 \text{ MW}$ olarak elde edilir. Bu sonuçlara göre PHES'li durumda toplam enerji alış-verişi $39,823 \text{ MW}$ iken, PHES'siz durumda $47,730 \text{ MW}$ 'tır. Zayıf üretim durumunda PHES, bağımlılığı bir miktar azaltabilmiştir. PHES'li durumda PHES'siz duruma göre bağımlılığı % kaç oranında azalttığı ifade edilecek olursa:

$$\frac{\text{ToplamEnerjiAlisVerisi(PHES'siz)} - \text{ToplamEnerjiAlisVerisi(PHES'li)}}{\text{ToplamEnerjiAlisVerisi(PHES'siz)}} =$$

$$= (47,730 - 39,823)/47,730 = 7,907/47,730 = 0,166$$

elde edilir. Sonuç olarak, zayıf üretim durum simülasyonunda mikro-şebekede PHES'in olmasının bağımlılığı % 16,6 oranında azalttığı görülmüştür. Bu oran güçlü üretim durumunda % 77,4 idi.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada varsayımsal bir mikro-şebeke nümerik olarak çalışıldı. Simülasyon çalışmalarının tutarlılığını artırmak için üretim ve tüketim modellerinin yeterli olmasına dikkat edildi. Çalışmada Kyocera KC200GT güneş panellerinden oluşan bir güneş santrali, Enercon E-33/330 (330 kW) rüzgar türbininden oluşan bir rüzgar santrali, saatlik 0,02186 MW elektrik enerjisi veren bir AET, maksimum 50.000 m³ ve minimum 5.000 m³ kapasiteli bir PHES ve saatlik olarak değişen 10.000 hane, 10 okul ve 1 hastaneden oluşan 50.000 nüfuslu kasabanın yük olarak varsayıldığı bir mikro-şebeke için simülasyon sonuçları sunuldu. Yönetim işlemleri, koşullu dallanmalara dayanan şartlı akış kontrolü algoritması ile sağlanmıştır. Güçlü ve zayıf yenilenebilir enerji üretim durumları için PHES'in olduğu ve olmadığı durumların ayrı ayrı analizleri yapılmıştır. Bu analizlerin sonucunda ise PHES'in olduğu ve olmadığı durumlarda mikro-şebekenin ana şebeke ile olan enerji alış-verişi oranları hesaplanabilmiş ve mikro-şebekenin dışarıya olan enerji bağımlılığı değerlendirilebilmiştir.

Sonuçta, yenilenebilir enerji üretiminin yetersiz olduğu zayıf üretim koşullarında, PHES'in şebekeye olan bağımlılığı etkin bir şekilde azaltmadığı görülmüştür. Gelecek çalışmalarda, mevcut PHES altyapısı için şebekeye bağımlılığı minimuma indirecek yenilenebilir enerji kaynak kapasitelerinin belirlenmesi problemi çalışılabilir. Böylece optimal enerji yatırımı ve kendi kendine yetebilir mikro-şebeke tasarımı konularında yol alınabilir.

6. Kaynaklar

- [1] Kallel, R., Boukettaya, G., Krichen, L. "Control Management Strategy Of Stand-Alone Hybrid Power Micro-System Using Super-Capacitor", *International Journal Of Renewable Energy Research*, 4, 1, 2014.
- [2] Zhou, W., Lou, C., Li, Z., Lu, L., Yang, H. "Current status of research on optimum sizing of stand-alone hybrid solar-wind power generation systems", *Applied Energy*, 87:380-9, 2010.
- [3] Baran, B., Mamis, M.S., Alagoz, B.B. "Utilization of energy from waste potential in Turkey as distributed secondary renewable energy source", *Renewable Energy* 90, 493-500, 2016.
- [4] Anayochukwu, A.V. "Optimal Energy Management System for PV/Wind/Diesel-Battery Power Systems for Rural Health Clinic", *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering(IJISAE)*, 2(4), 64-70, 2014.
- [5] Zhang, L., Gari, N., Hmurcik, L.W. "Energy management in a microgrid with distributed energy resources", *Energy Convers. Manag.* 78, 297-305, 2014.
- [6] Onar, O.C., Uzunoglu, M., Alam, M.S. "Modeling, control and simulation of an autonomous wind turbine/photovoltaic/fuel cell/ultra-capacitor hybrid power system", *Journal of Power Sources*, 185, 1273-1283, 2008.
- [7] Lin, W.M., Tu, C.S., Tsai, M.T., "Energy Management Strategy for Microgrids by Using Enhanced Bee Colony Optimization", *Energies*, 9,5, 2016.
- [8] www.meteoprog.ua, 2015.
- [9] Themelis, N.J., Kim, Y.H., Brady, M.H. "Energy recovery from New York Citymunicipal solid wastes", *Waste Manage Res.* 20, 223-233, 2002.
- [10] Md, A.R. "Prospect of Electric Energy from Solid Wastes of Rajshahi City Corporation: A Metropolitan City in Bangladesh", *2nd International Conference on Environmental Engineering and Applications IPCBEE*, 17, 43-51, 2011.
- [11] "Türkiye İstatistik Kurumu", www.tuik.gov.tr, 2013.
- [12] Baran, B., Mamis, M.S., Alagoz, B.B., "A Behavioral Model of Pumped Hydroelectric Energy Storage Systems for Microgrid Simulations", *ENTECH '15, III. Energy Technologies Conference*, İstanbul, 39-45, 2015.