

# Akıllı Şebeke Bileşenleri ve Yapısal Analizi Smart Grid Components and Structural Simulation

Furkan Yazıcı<sup>1</sup>, Mustafa Engin Başoğlu<sup>2</sup>, Bekir Çakır<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Elektrik Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye

furkan.yazici@tumurly.com, bcakir@kocaeli.edu.tr

<sup>2</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane, Türkiye

menginbasoglu@gumushane.edu.tr

## Öz

Yeni nesil elektrik iletim, dağıtım ve otomasyon sistemi olarak adlandırılan akıllı şebeke sistemleri, elektrik enerjisi ve buna bağlı bilgi teknolojisinin çok yönlü akışını kullanarak otomatik bir enerji dağıtım ağı oluşturmak amacıyla tasarlanmaktadır. Merkezi olarak tek yönlü enerji akışı sağlayan günümüz enerji dağıtım ve tüketimine istenilen şekilde cevap veremeyen geleneksel şebekelerin yerine, alt yapısı güçlü, anlık enerji tüketimlerine aktif bir şekilde cevap verebilen, enerji kayıplarının azaltılması ve verimliliğin yükseltilmesini amaçlayan akıllı şebeke sistemleri geliştirilmektedir. Bu çalışmada, mevcut şebeke yapıları incelenip, akıllı şebeke sistemi ve dünya genelindeki uygulamaları anlatılmıştır. Her geçen gün enerji ihtiyacının arttığı, temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına daha çok gereksinim duyulduğu akıllı şebeke sistemlerinin altyapı ve mimari tasarımları açıklanmıştır. Örnek bir akıllı şebeke sistemi oluşturularak, rüzgâr, güneş ve kojenerasyon santrallerinin şebeke ve birbirleri ile çalışma davranışları Homer Pro programında incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: akıllı şebeke, yeni nesil şebeke

## Abstract

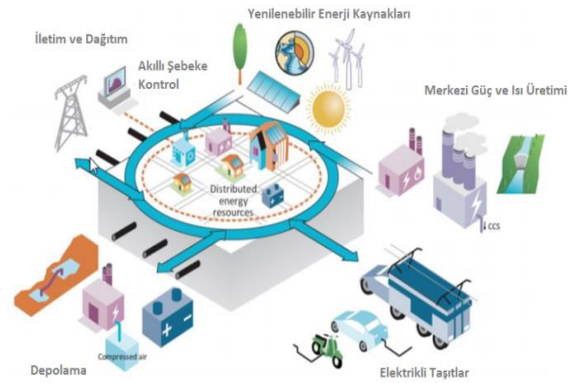
The Smart Grid which is a new generation of electricity transmission, distribution and automation systems, is designed for the purpose of creating an automated energy distribution network using the versatile flow of electricity and associated information technology. Instead of traditional networks that provide a central, unidirectional energy flow and can not respond to today's energy distribution and usage as desired, intelligent network designs are being developed that can proactively respond to powerful, instantaneous energy consumption and reduce energy losses and improve efficiency.

In this study, an overview of the existing network structures has been made and the applications of the smart grid system were explained. The operations of the wind, solar and natural gas plants have been simulated by the Homer Software and good coordination with each other were observed.

Keywords: smart grid, new generation

## 1. Giriş

Akıllı şebekeler enerji akışlarını otomatik olarak izleyebilen, enerji arzı ve talebindeki değişimlere uygun olarak adapte olabilen enerji ağlarıdır. Akıllı şebekeler, akıllı ölçüm sistemleri ile şebekenin parametrelerini izleyerek, gerçek zamanlı üretim ve tüketim hakkında bilgi sağlar ve tüketiciler ile tedarikçiler arasında arz-talep dengesini kurar. Akıllı sayaçlarla, tüketiciler zaman ve hacim olarak enerji kullanımlarını gün boyunca farklı enerji fiyatlarına uyarlayabilir ve daha düşük fiyat dönemlerinde daha fazla enerji harcayarak enerji faturalarında tasarruf sağlayabilir. Tipik bir akıllı şebeke yapısı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Akıllı şebeke mimari yapısı

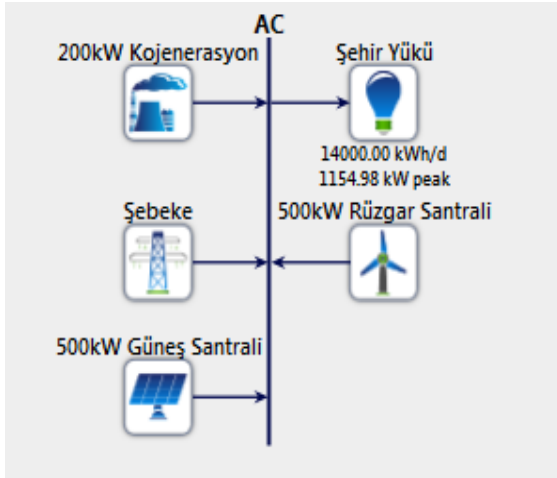
Yeni nesil elektrik iletim ve dağıtım sistemi olan akıllı şebeke, bilgi teknolojisini kullanarak hem mevcut şebeke altyapısının izlenebilirliğini hem de kontrol edilebilirliğini sağlamakla birlikte, arz-talep dengesini gözlemleyerek rüzgâr, güneş, biyogaz jeneratörleri gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını sisteme daha etkin bir şekilde dahil ederek enerji çeşitliliğini ve güvenilirliğini artırır. Akıllı şebekelerde tek bir merkezden enerji beslemesi olmadığı için, dağıtım ve çeşitlendirilmiş bir ağ gibi enerji akışı çift veya çok yönlü bir şekilde sağlanıp, sistemdeki tüm enerji üretim kaynaklarının ve talebin gerçek zamanlı koordinasyonu sağlanır. Akıllı şebekelerin görevleri; son kullanıcıların aktif bir şekilde sisteme dahil edilmesini sağlamak, tüm enerji üretim ve depolama kaynaklarının sisteme tam entegrasyonunu gerçekleştirmek, geniş alanlı iletişim ağları, sunucular, ağ geçitleri, vb. iletişim araçlarıyla

tüm sistemi anlık olarak izleyebilmek, dağıtım durumunu izleyip enerji akış tahminini yapmak için gerilim, akım ve güç faktörünü anında okuyup, enerji kalitesi için Volt-VAR kontrolü sağlamak, üretim, iletim, dağıtım, piyasa işletimi, toptan satış, perakende satış, ithalat ve ihracat faaliyetleri ile bu faaliyetlere ilişkin iş ve işlemlerden oluşan elektrik enerjisi piyasasını ve aynı zamanda serbest tüketici kimliği ile son kullanıcıların enerji tercih ve çeşitliliğini sağlamak, iletim ve dağıtım sistemlerinin birbirleriyle tam entegrasyonunu sağlayıp, enerji piyasası içinde mevcut ve yeni kaynakların işlevselliğini artırarak enerji kalitesini sağlamaktır.

Bu çalışmada rüzgar, güneş ve kojenerasyon santrallerinden oluşan örnek bir akıllı şebeke kurulması, örnek akıllı şebeke sistemindeki santrallerin şehir elektrik kullanımına karşı üretilen ve yük paylaşımının analiz edilmesi, her bir santralin ve tüm örnek sistemin amortisman süresinin hesaplanması amaçlanmıştır.

## 2. Benzetim Çalışmaları

Homer Pro programında, örnek bir sistem oluşturularak; 1 adet 500kW kurulu gücünde Güneş Santrali, 1 adet 500kW kurulu gücünde Rüzgâr Santrali, 1 adet 200kW kurulu gücünde Kojenerasyon Santrali'nin, şebeke ve belirtilen şehir yükü ile birlikte çalışma davranışları incelenmiş ve benzetimi yapılmıştır. Akıllı şebekelerde, yenilenebilir enerji kaynaklarının öncelikli kullanılması ve diğer enerji kaynaklarıyla birlikte en verimli şekilde çalışması amaçlanır. Benzetimi yapılan örnek proje İstanbul iklim ve piyasa koşullarında tasarlanmış, çalıştırılmış ve rapor edilmiştir. Benzetimin amacı, akıllı şebeke sistemlerinde yenilenebilir enerji santralleri ve diğer üretim santrallerinin birlikte çalışma davranışlarının incelenmesi ve sistemin amortisman süresinin hesaplanmasıdır.



Şekil 2. Benzetimi Yapılan Akıllı Şebeke Bağlantı Şeması

Şekil 2'de tasarlanan enerji santrallerinin program ara yüzündeki tek hat şeması görülmektedir. Birbirlerine akıllı şebeke üzerinden AC bara seviyesinden bağlı olan enerji santralleri ve diğer şebeke bileşenlerinin, iletim ve dağıtım kayıpları, aynı zamanda santrallerin inverter, trafo vb. gibi iç bileşenleri ve iç kayıpları sistemde ihmal edilmiş ve gösterilmemiştir. Tüm sistemin maliyet ve amortisman hesaplamasında 5 Ocak 2019 günü ekonomik veriler göz

önüne alınarak alınmış olup bu değerler Tablo 1 'de belirtilmiştir.

Tablo 1. 5 Ocak 2019 tarihine ait ekonomik parametreler

5 Ocak 2019 Güncel Parametreler	
USD/TL	5,48
EUR/TL	6,32
1m <sup>3</sup> Doğalgaz (TL)	1,14
GES Elektrik Satış Fiyatı ( USD Cent /kWh)	10,4
RES Elektrik Satış Fiyatı ( USD Cent/kWh)	9,3
Ayedaş Elektrik Satış Fiyatı TL/kWh	0,41

### 2.1 Proje Bileşenleri

Benzetimi yapılan örnek projede, Homer Programı'nda her bir enerji kaynağı ayrı ayrı tanımlanmıştır. İstanbul bölgesi için tasarlanmış olan projede İstanbul için mevsimsel güneş ve rüzgâr alım değerleri girilerek, projenin gerçek zamanlı benzetimi sağlanmıştır. Ayrıca birbiri ile haberleşen elektrik üretim santrallerinin beslediği şehir elektrik kullanım davranışı tanımlanmış olup, bu tüketim davranışına göre sistemin en ekonomik ve en verimli şekilde çalışması amaçlanmıştır.

#### 2.1.1. Enerji Kaynakları

Projede tanımlanan rüzgâr ve güneş enerji santrallerinin çalışma karakteristiklerini direkt bir şekilde etkileyecek olan mevsimsel rüzgâr ve güneş enerjisi girdileri, Homer Pro programı vasıtasıyla NASA Surface Meteorology Database üzerinden İstanbul bölgesi için güneş ve rüzgâr mevsimsel değerleri programa indirilmiştir ve projeye eklenmiştir.

##### 2.1.1.1 Güneş Kaynağı

NASA Meteoroloji ve Güneş Enerjisi Bilgi Bankası'ndan internet üzerinden İstanbul için aylık güneş enerjisi değerleri alınmış ve projeye girdi olarak eklenmiştir. Bu değerler Tablo 2'de listelenmiştir. Bu değerlerden de görüleceği üzere yıllık mevsimsel güneş ışınım değerleri yaz aylarında yüksek, kış aylarında düşüktür. Bu değerler ile doğru orantılı olarak güneş enerji santralinin elektrik üretimi, güneş enerji ışınım değerlerinin yüksek olduğu aylarda fazla, güneş ışınım değerlerinin düşük olduğu aylarda ise azdır.

Tablo 2. Yıllık İstanbul güneş enerjisi alım değerleri

Aylar	Hava Açıklık İndeksi	İstanbul Günlük Radyasyon (kWh/m <sup>2</sup> /gün)
Ocak	0,374	1,520
Şubat	0,415	2,270
Mart	0,453	3,390
Nisan	0,482	4,600
Mayıs	0,526	5,790
Haziran	0,572	6,630
Temmuz	0,609	6,870
Ağustos	0,588	5,920
Eylül	0,555	4,540
Ekim	0,454	2,750
Kasım	0,396	1,730
Aralık	0,349	1,270

### 2.1.1.2 Rüzgâr Kaynağı

İstanbul için 200 m yükseklikte bulunan rüzgâr türbini için NASA Meteoroloji ve Güneş Enerjisi Bilgi Bankası'ndan internet üzerinden alınan rüzgâr hızı aylık ortalama değerleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. İstanbul için yıllık ortalama rüzgâr alım değerleri

İstanbul Ortalama Rüzgâr Hızı (m/s)			
Ocak	13,35	Temmuz	12,78
Şubat	14,91	Ağustos	12,91
Mart	13,67	Eylül	14,45
Nisan	11,85	Ekim	14,27
Mayıs	10,49	Kasım	13,1
Haziran	11,39	Aralık	13,456

### 2.1.2. Enerji Santralleri

Homer Pro programında, projede santral olarak; güneş, rüzgâr, jeneratör (kojenasyon) ve şebeke tanımlanmıştır.

#### 2.1.2.1 Güneş Santrali

Projede 500kW kurulu gücünde Solarmax marka güneş panelleri ile tasarlanmış lisanssız güneş enerjisi santrali kurulmuştur. Homer Pro üzerinden Solarmax marka panellerin elektrik üretim karakteristiği alınmıştır. Ayrıca santral kurulum maliyetinde gerçek örneklerden yola çıkarak, fider bağlantısına kadar olan alçak gerilim kablolama, trafo bağlantısı, OG Hücre vb. santral bileşenleri göz önüne alınmıştır. Tablo 4'de güneş enerjisi santraline ait bazı bilgileri verilmiştir.

Tablo 4. 500kW güneş santrali kurulum değerleri

Kapasite	: 500kW
Marka	: Solarmax
Toplam Kurulum Maliyeti	: 3.300.000 TL
Şebeke Bağlantı Şekli	: AC
Santral Ömrü	: 25 yıl
Santral Yenileme Maliyeti	: 2.000.000 TL
Yıllık Bakım / Onarım gideri	: 16.500 TL

Tanımlanan güneş enerji santralinde iç kayıplar ihmal edilmiş ve trafo, inverter vb. bileşenler projede belirtilmemiştir.

#### 2.1.2.2 Rüzgâr Santrali

Rüzgâr santrali olarak 500 kW gücünde 1 adet Windflow 45-500 model rüzgâr türbini kurulmuştur. İç kayıpları ihmal edilen santralin kurulum değerleri Tablo 5'de belirtilmiştir.

Tablo 5. 500kW rüzgâr santrali kurulum değerleri

Kapasite	: 500kW
Marka	: Windflow
Toplam Kurulum Maliyeti	: 3.550.000 TL
Şebeke Bağlantı Şekli	: AA
Santral Ömrü	: 25 yıl
Santral Yenileme Maliyeti	: 2.750.000 TL
Yıllık Bakım / Onarım gideri	: 40.000 TL
En Düşük Rüzgâr Çalışma Hızı	: 4,5 m/s
En Yüksek Rüzgâr Çalışma Hızı	: 25 m/s
Nomial Rüzgâr Çalışma Hızı	: 11,5 m/s

### 2.1.2.3 Kojenerasyon Santrali

200 kW gücünde Generic marka gaz motorlu kojenerasyon santrali sisteme dahil edilmiştir. Doğalgaz tüketerek, 200kW elektrik ve 250kWh ısı üreten santralin tüm üretimi, kullanıcı tarafından tüketilmektedir. Alt ısı değeri 85Mj/kg olan doğal gaz ile tam yükte saatte yaklaşık 58m<sup>3</sup> doğal gaz tüketen kojenerasyon santralinin kurulum parametreleri Tablo 6'da listelenmiştir.

Tablo 6. 200kW kojenerasyon santrali kurulum değerleri

Kapasite	: 200kW
Marka	: Generic
Toplam Kurulum Maliyeti	: 1.260.000 TL
Şebeke Bağlantı Şekli	: AA
Santral Ömrü	: 40.000 saat
Santral Yenileme Maliyeti	: 550.000 TL
Bakım / Onarım gideri	: 18 TL/saat
Maksimum yakıt tüketimi	: 58 m <sup>3</sup>
Günlük Çalışma Aralığı	: 06:00 – 22:00

### 2.1.3. Şebeke

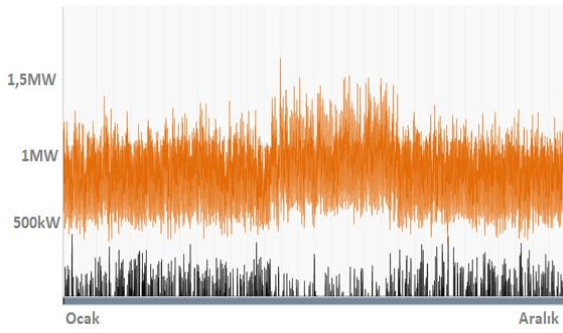
Şebeke, tüm elektrik üretim santrallerinin ve son kullanıcıların elektrik alış ve satış yapabileceği şekilde tasarlanmıştır.

#### 2.1.4. Yük

Dalgalı tüketim yaptığı düşünülen bir şehrin tüketim değerleri, mevsimsel ve günlük tüketim davranışına göre tanımlanmıştır. Tüketim yükü tepe değeri en fazla 1.649,9 kW, ortalama tüketim yükü ise 833,3 kW olmuştur.

### 2.2 Analiz Sonuçları

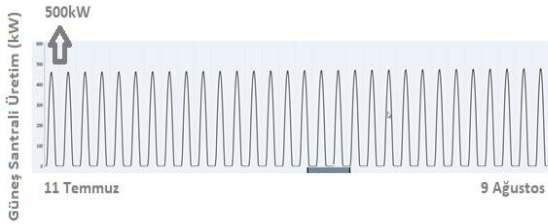
Tanımlanan sistemde yenilenebilir enerji üretim santralleri olarak 500kWh güneş enerjisi santrali, 500kWh rüzgâr enerjisi santrali ve 200kWh kojenerasyon santrali bulunmaktadır. Analiz sonuçları, birincil yük olarak tanımlanan ve ortalama yükü 833,3kWh olan şehir tüketimine karşı gösterilen akıllı şebeke performansı, akıllı üretim davranışlarının incelenmesi ve gözlemlenmesi, her bir üretim kaynağının kurulum maliyeti ve üretim verileri karşılaştırılarak sistemin amortisman süresine dayanarak hesaplanmıştır. Kurulan örnek sistem verimlilik esasına dayalı çalışmakta olup, arz talep dengesini en düşük maliyetli üretim kaynağından, ihtiyacın artmasıyla en yüksek maliyetli üretim kaynağına doğru yönlendiren kontrol ve otomasyon mekanizmaları bu benzetimde de aktif bir şekilde kullanılmıştır. Şebeke ve birbirleri ile senkron bir şekilde çalışan tanımlı santraller, günlük rüzgâr ve güneş alım değerleri, serbest piyasa elektrik alım satım fiyatı ve yük tüketimine bağlı olarak mümkün olduğunca verimli çalıştırılmışlardır. Elektrik üretim miktarı, talepten fazla olduğu durumlarda ve elektrik üretim fiyatının, şebeke elektrik alış fiyatından düşük olduğu zamanlarda, enerji santrallerinden üretilen elektrik enerjisi şebekeye satılmıştır. Rüzgâr, güneş ve kojenerasyon santralleri toplam 4.232,2 MWh elektrik enerjisi üretmiş ve santrallerden üretilen enerjinin 125.39 kWh enerjeye karşılık gelen %2,9'u şebekeye satılmıştır. Sistemde toplam 7.425,3 MWh elektrik tüketimi gerçekleşmiş olup 3.193,1 MWh enerji şebekeden sağlanmıştır. Şekil 3'de santrallerin elektrik üretim ve şebekeye elektrik satış grafiği gösterilmiştir.



Şekil 3. Yıllık elektrik üretim (turuncu) ve şebeke alış (siyah) grafiği

### 2.2.1 Güneş Santrali Çalışma Raporu

500kW kurulu gücündeki güneş santrali, günlük olarak havanın aydınlanmasıyla birlikte enerji üretimine başlayıp, havanın kararması ile birlikte üretimini azaltıp durdurmuştur. Akşam ve gece saatlerinde üretim yapmamıştır. Yıl boyunca toplam 4.389 saat çalışıp devrede kalan güneş santrali sistemdeki toplam elektrik tüketiminin %17,81'ini sağlamış ve toplam 1.322,8 MWh enerji üretmiştir. Şekil 4'de güneş santralinin 11 Temmuz – 9 Ağustos tarihleri arasındaki elektrik üretim karakteristiği gösterilmiştir.



Şekil 4. Güneş santrali 11 Temmuz – 9 Ağustos arasındaki üretim karakteristiği

### 2.2.2 Rüzgâr Santrali Çalışma Raporu

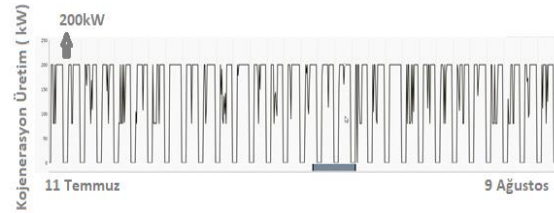
Günlük rüzgâr değeriyle ve sistemdeki elektrik tüketim – fiyat dengesiyle bağlantılı olarak rüzgâr santrali gün içerisinde maksimum 500kW tepe değerini görerek, rüzgâr ve elektrik talep dengesiyle bağlantılı olarak zaman zaman devreden çıkmıştır. Yıl boyunca 5061 saat devrede kalan rüzgâr santrali toplam 1.669,6 MWh elektrik üretmiştir. Bu üretim değeri ile sistemdeki toplam elektrik tüketiminin %22,49'unu karşılamıştır. Şekil 5'de rüzgâr santralinin 11 Temmuz – 9 Ağustos arasındaki üretim karakteristiği gösterilmiştir.



Şekil 5. Rüzgâr santrali 11 Temmuz – 9 Ağustos arasındaki üretim karakteristiği

### 2.2.3 Kojenerasyon Santrali Çalışma Raporu

200kW kurulu gücünde gaz motorlu kojenerasyon santrali yıllık ortalama 6,199 saat çalışmış ve yılda toplam 1.239,8 MWh elektrik ve 1.549,75 MWh ısı üretimi gerçekleştirmiştir. Ortalama 0,29m<sup>3</sup>/kWh doğal gaz tüketen gaz motoru, yılda toplam 359.542 m<sup>3</sup> yakıt tüketmiştir. Doğalgaz motorlu kojenerasyon santrali ortalama 40,6 Kuruş/kWh maliyetli elektrik üretimi gerçekleştirmiştir. Yılda arz-talep dengesi ve şebeke elektrik fiyatına bağlı olarak ortalama 371 kez devreye girip çıkmıştır. Şekil 6'da 11 Temmuz – 9 Ağustos tarihleri arasındaki elektrik üretim değişimi görülmektedir.



Şekil 6. Kojenerasyon santrali 11 Temmuz – 9 Ağustos arasındaki üretim karakteristiği

### 2.2.4 Genel Çalışma Raporu

Analizi yapılan örnek sistemdeki tüm santrallerin ayrı ayrı yıllık gelir/gider hesaplaması yapılmış olup, santrallerin amortisman süreleri hesaplanmıştır. 5 Ocak 2019 tarihli döviz kuruna göre elektrik tüketim fiyatı ve yenilenebilir enerji santrallerinin elektrik üretim devlet alım garanti ücreti alınmıştır. Sırasıyla; yılda 737.890 TL kar sağlayan güneş santralini amortisman süresi 4,48 yıl, 850.895 TL kar sağlayan rüzgâr santralini amortisman süresi 4,38 yıl ve yılda 528.486 TL kar sağlayan kojenerasyon sisteminin amortisman süresi 2,38 yıl olmuştur. Sistemin toplam amortisman süresi 3,91 yıl olarak hesaplanmıştır. Detaylı üretim ve tüketim değerleri Tablo 7'de belirtilmiştir.

Tablo 7. Sistem kurulum ve amortisman süresi hesabı

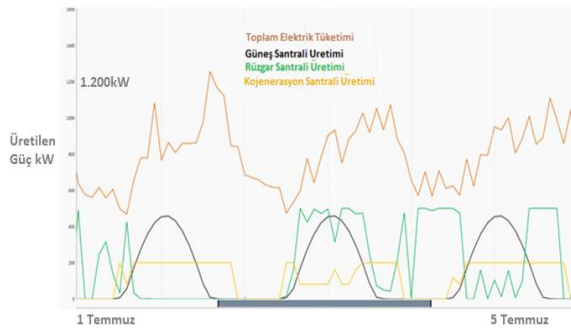
	Güneş Santrali	Rüzgâr Santrali	Kojenerasyon Santrali
USD / TL	5,48		
EUR / TL	6,32		
Doğalgaz Fiyat TL / m <sup>3</sup>	1,4		
Kurulu Gücü (KWe) / yıl	500	500	200
Santral Kurulum Maliyeti (TL)	3.300.000	3.550.000	1.260.000
Yıllık Elektrik Üretimi MWh(e) / yıl	1.322,80	1.669,60	1239,8
Yıllık Isı Üretimi MWh(th) / yıl	0	0	1549,7
Toplam Enerji Üretimi MWh / yıl	1.322,8	1.669,6	2.789,5
Elektrik Satış(Kazanç) Fiyatı USD Cent / TL	10,4	9,3	7,48
<b>Yıllık Toplam Kazanç TL</b>	<b>753.890</b>	<b>850.895</b>	<b>1.143.427</b>
Doğalgaz Tüketim m <sup>3</sup> / yıl	0	0	359.542
Yıllık Gider (TL) (Tüketim, Bakım)	16.500	40.000	111.582
<b>Yıllık Toplam Maliyet (TL)</b>	<b>16.500</b>	<b>40.000</b>	<b>614.941</b>
<b>Yıllık Toplam Kar (TL)</b>	<b>737.390</b>	<b>810.895</b>	<b>528.486</b>
Santral Amortisman Süresi (YIL)	<b>4,48</b>	<b>4,38</b>	<b>2,38</b>
Sistem Genel Amortisman Süresi	<b>3,91</b>	<b>YIL</b>	

Şekil 7'de enerji kaynaklarının aylık üretim oranları belirtilmiştir. Bu üretim oranlarında yenilenebilir enerji kaynaklarının mevsimsel değerler ile arz-talep dengesini gözetmesi, aynı zamanda piyasa elektrik alış-satış tarifesi ve santrallerin işletim maliyetleri önemli ölçüde belirleyici olmuştur.



Şekil 7. Enerji kaynaklarının aylık ortalama üretimi (kırımcı: şebeke, kahverengi: rüzgâr, turuncu: güneş, yeşil: kojenerasyon)

Akıllı şebeke sisteminde yıllık en fazla tüketim sırasıyla %45,03 (3.343,4 MWh) ile şebekeden, %22,49 (1.669,6 MWh) ile rüzgâr santrali, %17,81 (1.322,8 MWh) ile güneş santrali ve %14,67 (1.239,8 kWh) ile kojenerasyon santralinden karşılanmıştır. Toplam elektrik tüketimi ve santrallerin elektrik üretim grafikleri Şekil 8'de belirtilmiştir ve grafikler 1 Temmuz – 5 Temmuz arası ölçekli gösterilmiştir. Elektrik tüketimi 2 Temmuz günü gece saatlerinde en yüksek değerine ulaşmış ve o zaman zarfında rüzgâr ve güneş santralleri çalışmadığı için elektrik tüketimi şebeke ve kojenerasyon santralinden sağlanmıştır.

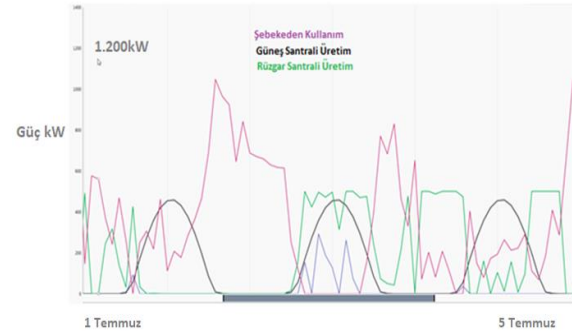


Şekil 8. Toplam Tüketim ve Santrallerin Üretim Grafikleri

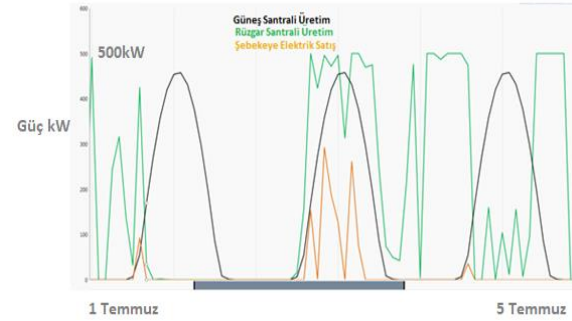
Tüketim öncelikli olarak santrallerin üretiminden karşılanmaktadır. Santrallerin toplam üretim değerinin, tüketim değerini karşılayamadığı durumlarda, şebekeden elektrik çekilerek yük tüketimi karşılanmıştır.

Şekil 9'da şebekeden elektrik tüketiminin diğer santrallerden karşılanamadığı zamanlar daha fazla olduğu, diğer santrallerin üretiminin elektrik tüketimini karşılayabildiği zamanlar ise şebekeden hiç elektrik çekilmediği görülmektedir.

Elektrik üretiminin elektrik tüketiminden fazla olduğu ve elektrik satış fiyatının üretim fiyatından yüksek olduğu zamanlarda şebekeye elektrik satışı Şekil 10'da görülmektedir.

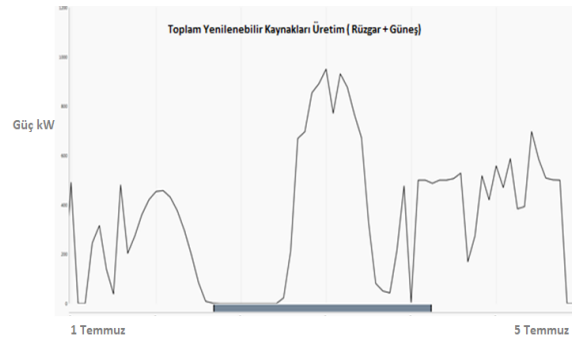


Şekil 9. Şebeke Kullanım – Rüzgâr – Güneş Santralleri Üretim Grafikleri



Şekil 10. Rüzgâr – Güneş Santralleri Üretim- Şebekeye Satış Grafikleri

Yenilenebilir enerji kaynaklarının mevsimsel değerlere bağlı olarak toplam üretim grafiği Şekil 11'de gösterilmiştir. İki santralin toplam en yüksek enerji üretim değeri 3 Temmuz gündüz saatlerinde gerçekleşmiştir.



Şekil 11. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Toplam Üretim Grafiği

Rüzgâr ve güneş santrallerinin elektrik üretim performansları, ilgili enerji kaynaklarının değeri ile doğru orantılıdır. Şekil 12 ve Şekil 13'de güneş ve rüzgâr santrallerinin üretim performansları görülmektedir.



Şekil 12. Rüzgâr Hızı – Rüzgâr santrali üretim grafikleri



Şekil 13. Güneş Alım – Güneş santrali üretim grafikleri

### 3. Sonuçlar

Yük talebinin yüksek olduğu saatlerde akıllı şebeke sistemi diğer santrallerin üretim kapasitesini artırarak arz-talep dengesini sağlamıştır. 500kW gücündeki güneş ve rüzgâr enerji santrallerinin üretim değerleri mevsimsel parametreler ile doğru oranda değişmiş, 200kW Kojenerasyon santralının üretim değeri ve çalışma aralığı serbest piyasa elektrik alış fiyatına göre belirlenmiştir.

Rüzgâr ve güneş santrallerinin ürettiği elektrik enerjisinin şebekeye satışı konusunda devlet alım garantisinin dolar ile olması, bu santrallerin amortisman sürelerini düşürmüştür. 3.3 Milyon TL yatırım maliyetli 500kW güneş santrali kendini 4,48 yılda, 3,55 Milyon TL yatırım maliyetli 500kW Rüzgâr Santrali ise kendini 4,38 yılda amorti etmiştir. 1.26 Milyon TL yatırım maliyeti olan 200kW gücündeki gaz motorlu kojenerasyon santralının amortisman süresi 2,38 yıl olarak hesaplanmıştır. Toplam amortisman süresi 3,91 yıl olarak hesaplanan sistemin üretim verimliliğinde akıllı şebeke işletme yönetimi direk etkili olmuştur.

Yapılan benzetim sonucunda toplamda 8.11 Milyon TL yatırım maliyeti ile oluşturulan örnek akıllı şebeke sisteminin 3.91 yılda kendini amorti ettiği, bu yıldan sonra yılda 2,07 Milyon TL kar ettirdiği gözlemlenmiştir. 3,3 Milyon TL yatırım maliyetli ile kurulan 500kW güneş santrali kendini 4,48 yılda, 3,55 milyon TL yatırım maliyetli ile kurulan 500kW rüzgâr santrali kendini 4,38 yılda, 1,26 Milyon TL yatırım maliyeti olan 200kW gücündeki gaz motorlu kojenerasyon santrali kendini 2,38 yılda amorti etmiştir. Örnek sistemin kurulduğu İstanbul ili mevsimsel rüzgâr ve güneş alım değerleri rüzgâr ve güneş santrallerinin üretim değerlerinde etkili olmuştur. Yenilenebilir enerji kaynaklarının

kullanılması ve şebekeye entegrasyonunu teşvik etmek için devlet tarafından şebeke enerji satış tarifesi belirlenmiştir. Güneş santrallerinin ürettiği enerjide 10,4 Dolar Cent, rüzgâr santrallerinin ürettiği enerjide 9,3 Dolar Cent alım garantisi bulunmaktadır. USD/TL kurunun 5,48 olduğu benzetim süresince yenilenebilir enerji kaynakları mümkün olduğu ölçüde tam performans ile çalıştırılmışlardır. Güneş ve rüzgâr santrallerinden üretilen enerjinin bir kısmı şehir yükü tarafından tüketilmiş, bir kısmı ise şebekeye satılmıştır. Doğal gaz m<sup>3</sup> fiyatının 1,4 TL olduğu benzetim süresince 200kW elektrik ve 250kW ısı üretim gücündeki kojenerasyon santrali sadece sistemdeki iç tüketimi karşılamak amacıyla çalıştırılmış olup, şebekeye elektrik enerjisi satmamıştır. Elektrik tüketim fiyatının yaklaşık 10kuruş/kWh olduğu gece tarifesince (22:00 – 06:00 saatleri arası) kojenerasyon santrali çalıştırılmamıştır. Benzetimi yapılan sistemde santrallerin ve şebeke elektrik ekipmanlarının periyodik bakım süreleri haricinde bir arıza ve kesinti gerçekleşmemiştir. Akıllı şebeke yönetim sistemi enerji kalitesi ve enerji tedarikini sağlamak amacıyla şebeke içi enerji akışını verimli bir şekilde yönetmiştir. Merkezi üretime dayalı geleneksel şebeke yapısı ile kurulan aynı örnek sistemde yılda 10-12 defa plansız elektrik kesintisi yaşanırken, akıllı şebeke bileşenlerinin kullanıldığı ve enerji kaynak çeşitliliğinin sağlandığı sistemde hiç plansız kesinti yaşanmamıştır

### Kaynaklar

- [1] Shafullah G. M., "Smart Grid and Renewable Energy", Published Online, 2013, <http://www.scirp.org/journal/sgre> <http://dx.doi.org/10.4236/sgre.2013.41004>.
- [2] Gulich O., "Master's Thesis technological and Business Challenges of Smart Grids" Aggregator's Role in Current Electricity Market, 2010.
- [3] International Energy Agency "Technology Roadmap, smart Grids", OECD/IEA, 2011.
- [4] Overview of Activities and Players in Smart Grids, Draft 2015, [http://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/gee/News/Smart\\_Grids\\_Overview\\_05-19-15.pdf](http://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/gee/News/Smart_Grids_Overview_05-19-15.pdf).
- [5] UNECE, "Overview of Activities and Players in Smart Grids", [http://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/gee/News/Smart\\_Grids\\_Overview\\_05-19-15.pdf](http://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/gee/News/Smart_Grids_Overview_05-19-15.pdf).
- [6] European Commission, "JRC Science and Policy Reports Smart Grid Projects Outlook 2014, Report EUR 26651 EN", 2014.
- [7] Gulich O., "Master's Thesis technological and Business Challenges of Smart Grids" Aggregator's Role in Current Electricity Market, 2010.
- [8] Modellstadt Mannheim (moma): Abschlussbericht, 2013
- [9] Overview of Activities and Players in Smart Grids, Draft 2015, [http://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/gee/News/Smart\\_Grids\\_Overview\\_05-19-15.pdf](http://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/gee/News/Smart_Grids_Overview_05-19-15.pdf).



**Furkan Yazıcı**

1988 yılında Rize’de doğdu. Lisans derecesini Pamukkale Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü’nde tamamladı. Lisans bitirme tezini 2008-2009 yılları arasında ‘Alçak gerilim elektrik tesislerinde tek ve üç fazlı kısa devre akımlarının hesaplanması’ konulu olarak Biberach Üniversitesi’nde ve Elektro Rehm firmasında, Almanya’da tamamladı. 2009-2010 yılları arasında Mannheim Üniversitesi Otomasyon ve Enerji Sistemleri Master programında eğitim görmüştür. 2011-2018 yılları arasında Enerji Santralleri kurulum ve devreye alma, güç sistemleri satış alanında çalışan Furkan Yazıcı, 2018 yılında Tübitak BIGG 1512 Teknogirişim Programı’nı kazanarak akıllı güneş sistemleri alanında Arge çalışmaları yapmaktadır. Halen sahibi olduğu Tumurly Akıllı Teknoloji Sistemleri Ltd. Şti firmasında 2,45kWp gücünde AYÇA isimli yerli güneş sistemi tasarlayıp geliştirme ve Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı’nda ‘Akıllı Şebekeler’ konulu tezi ile tez aşamasındadır



**Yrd. Doç. Dr. Mustafa Engin Başoğlu**

1988 yılında doğdu. 2013 yılında Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Doktorasını “Fotovoltaik sistemler için yeni bir maksimum güç noktası izleme yönteminin geliştirilmesi ve uygulanması” tezi ile 2017 yılında tamamladı. 2012 yılından itibaren Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendisliği bölümünde araştırma görevlisidir. 2018 yılından itibaren Gümüşhane Üniversitesi Elektrik Elektronik Bölümünde yardımcı doçenttir. İlgili alanları şunlardır: fotovoltaik sistemler, maksimum güç noktası izleme algoritmaları, güç elektroniği, anahtar modlu güç kaynakları ve elektrikli makinelerin kontrolü.



**Prof. Dr. Bekir akır**

Kocaeli’de doğdu, lisans ve yüksek lisansını sırasıyla 1986 ve 1990 yıllarında Berlin Teknik Ünibersitesi Elektroteknik Mühendisliği Fakültesi’nde tamamladı. 1995 yılında Kocaeli Üniversitesi’nden doktora derecesini aldı. Halen Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümünde profesör olarak görev yapmaktadır. Araştırma alanları arasında mikrodenetleyici tabanlı devreler, mantık devreleri, güç elektroniği sürücü devreleri, yenilenebilir enerji kaynakları ve maksimum güç noktası takip algoritması bulunmaktadır.