

# Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Kampüsünde Elektrik Tüketim Maliyetinin Azaltılmasına Yönelik FV Üretim ve Enerji Depolama Biriminden Oluşan bir Mikro Şebekenin Optimal Tasarımı

## Optimal Design of a Microgrid with PV Generation and Energy Storage Unit to Reduce Electricity Cost in Eskişehir Osmangazi University Campus

İpek Çetinbaş<sup>1</sup>, Bünyamin Tamyürek<sup>1</sup>, Mehmet Demirtaş<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi  
ipekcetinbas@ogu.edu.tr, btamyurek@ogu.edu.tr

<sup>2</sup>Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi  
mehmetd@gazi.edu.tr

### Özet

Bu çalışmada, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi (ESOGÜ) kampüsünde elektrik tüketim maliyetinin azaltılmasına yönelik fotovoltaik (FV) güç üretim birimi ve enerji depolama biriminden oluşan bir alternatif akım (AA) mikro şebekenin optimal tasarımı yapılmıştır. Tasarımın doğrulanması amacıyla önerilen mikro şebeke yapısı MATLAB/Simulink ortamında modellenmiş ve bir günlük çalışma için fazör çözüm metodu kullanılarak simülasyonu yapılmıştır. Bu kapsamda kampüste yer alan ve aynı elektrik barasına bağlı farklı dört yük grubu seçilmiş ve gerçek tüketim verileri elde edilmiştir. Mikro şebekenin en verimli çalışma durumunun elde edilmesi için 24 saatlik üretim ve tüketim verilerine dayalı olarak üç farklı enerji yönetim senaryosu geliştirilmiştir. Böylece, yapılan analiz ve simülasyon sonuçları değerlendirildiğinde toplam elektrik enerjisi maliyetinde %43,16 ile %54,12 arasında bir tasarruf elde edildiği ve sistemin kendisini yaklaşık 34 ila 41 ay arasında amorti ettiği anlaşılmıştır. Sonuç olarak, bu çalışmada önerilen mikro şebeke yapısı ve enerji yönetimi stratejisi ile çok zamanlı tarife kullanımının ekonomik fizibilitesi araştırılmış ve böylece kampüsün yenilenebilir enerji kaynakları kullanarak daha verimli, ekonomik ve aynı zamanda temiz enerji hedeflerine ulaşılacağı gösterilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** AA mikro şebeke, dağıtık üretim, enerji depolama, fotovoltaik enerji sistemleri

### Abstract

This study presents the optimal design of an AC microgrid with photovoltaic (PV) power generation and energy storage unit to reduce the electricity cost in Eskişehir Osmangazi University (ESOGU) campus. In order to verify the design, the proposed microgrid is modelled in MATLAB/Simulink and

simulated over one day period by using the phasor solution method. In addition, the real time electricity consumptions of four different load groups that are connected to the selected bus in the campus have been obtained and included in the simulation model. Based on the generation and consumption data obtained over a 24-hour period, three different energy management scenarios are developed for the efficient operation of the microgrid. Therefore, a saving between 43.16% and 54.12% in total electricity cost and a payback time between 34 and 41 months have been obtained based on the analysis and the simulation results. Consequently, the feasibility study of the multi tariff energy metering with the proposed microgrid structure and the energy management strategy demonstrated the benefit and the significance of using renewable energy sources towards realizing a more efficient, economic, and a cleaner campus objectives.

**Keywords:** AC microgrid, distributed generation, energy storage, photovoltaic energy systems

### 1. Giriş

Elektrik enerjisinin üretimi ve tüketimi arasındaki denge; teknolojik gelişmelerin, nüfus artışının ve sanayileşmenin sürekli devam ettiği modern toplumlar için kritik öneme sahiptir. Yapılan araştırmalar, artan enerji tüketimi seyrine karşılık petrol, doğalgaz ve kömür içeren fosil yakıtlı enerji üretiminin aynı oranda karşılık veremeyeceğini göstermiştir. Petrole 51 yıl, doğalgaza 53 yıl ve kömüre ise 114 yıl rezerv ömrü tahmini yapılmaktadır. Fosil yakıtların kritik rezerv seviyeleri için 2016-2040 yılları arasında enerji sektörüne yeni ve yenilenebilir kaynaklardan yatırımlar planlanmaktadır. Yaklaşık 66,5 trilyon dolarlık yatırımın %35'i enerji verimliliğine ve %11'i yenilenebilir enerji sektörüne olacağı tahmin edilmektedir [1]. Bu sebeple enerjinin hem etkin ve verimli kullanımı hem de enerji sektörüne yenilenebilir enerji kaynaklarının dahil edilmesi ile

klasik enerji şebekesine karşılık mikro şebeke gibi alternatif fikirler ortaya çıkmıştır.

Mikro şebekeler, farklı yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonuna esnek bir şekilde olanak sağlayan, düşük veya orta gerilimli küçük ölçekli enerji dağıtım sistemine verilen isimdir. Dağıtık üretim kaynakları, enerji depolama birimleri ve yüklerden oluşan ve yerel enerji ağı olan mikro şebekeler güç şebekesi açısından değerlendirildiğinde kontrol edilebilen tek bir varlık olarak davranır [2-3].

Mikro şebekeler klasik güç şebekeleri ile kıyaslandığında birçok avantaja sahiptir. Mikro şebekeler ile enerji üretim sistemlerine yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu sağlanmaktadır. Karbon salımının azaltılması ve fosil yakıt bağımlılığına çözüm olması gibi birçok ekonomik ve çevresel kazanım elde edilmektedir. Küçük ölçekli şebekeler olan mikro şebekeler, güç şebekesiyle bağlantılı çalışabildiği gibi ana şebekeden ayrılarak ada modlu otonom çalışabilir ve kritik yüklere güvenilir enerji temini sağlanabilir. Daha az yatırım maliyeti, yerinde üretim ve yerinde tüketim özelliği ile daha az iletim kaybı ve sürdürülebilir enerji için mikro şebeke güvenilir bir güç olarak karşımıza çıkmaktadır [4-5]. Bu sebeple mikro şebekeler enerji sektöründe gelecek vadeden uygulamalar arasında gösterilmektedir.

Mikro şebekelerde birincil kontrol, ikincil kontrol ve üçüncül kontrol olmak üzere üç kontrol yapısı mevcuttur ve bu kontrol yapıları hiyerarşik kontrol olarak isimlendirilir. Hiyerarşik kontrolün ilk basamağında yer alan birincil kontrol; dağıtık üretim birimleri arasındaki yük paylaşımından, ada modlu çalışma durumundaki gerilim ve frekans kararlılığından sorumludur. İkinci basamağında yer alan ikincil kontrol; gerilim ve frekans sapması ve güç şebekesine senkronizasyondan sorumludur. Üçüncül kontrol ise güç şebekesi ve mikro şebeke arasındaki enerji alışverişinden ve piyasa katılımından sorumludur. Ayrıca maliyet vb. değişkenlerin optimizasyonu ile üçüncü kontrol basamağı ilgilenir.

Mikro şebekeler ile ilgili literatürde çeşitli çalışmalar mevcuttur. Ada modlu rüzgâr-dizel güç sistemli mikro şebekelerde depolama sistemlerinin programlanması için uzman tabanlı bir sistem önerilmiştir. Bu sistem ile enerji tasarrufu yapılmış, dizel güç miktarı, maliyet ve emisyonlar azaltılmıştır [6]. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile ortaya çıkan güç kalitesi problemlerine yönelik bir çalışmada enerji depolama birimlerinin yerleşimi analiz edilmiş ve sistem performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir [7]. Mikro şebekelerin optimal planlanması ve tasarımı ile ilgili çalışmalarda ise mikro şebekenin enerji kalitesinin artırılması ve daha güvenilir bir sistem oluşturulması amaçlanmıştır [8].

Bu çalışmada ise ESOGÜ kampüsü için yenilenebilir enerji kaynaklı bir AA mikro şebeke tasarlanmıştır. Mikro şebekenin 24 saatlik simülasyonu MATLAB/Simulink programında fazör çözüm metoduyla yapılmıştır. Kampüs bünyesinden seçilen dört yük grubunun gerçek tüketim profilleri ölçümler sonucunda elde edilmiştir. Üretim ve tüketim profiline göre 24 saatlik çalışma için üç senaryo planlanmış ve mikro şebekenin enerji ihtiyacının öncelikli olarak FV güç sisteminden ve enerji depolama biriminden karşılanması amaçlanmıştır.

Yükün talep ettiği enerjinin üretilen veya depolan enerjiden fazla olduğu durumda ise mikro şebekenin enerji talebi güç şebekesinden karşılanmıştır. Tasarlanan AA mikro şebeke ile enerji depolama biriminin optimum kullanımı sağlanmış, oluşturulan farklı senaryoların maliyet, kâr ve amortisman süresi analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

## 2. AA Mikro Şebeke Tasarımı

AA mikro şebeke tasarımı; fazör çözüm metodu, mikro şebeke modeli, çalışma senaryoları ve simülasyon sonuçları, maliyet, kâr ve amortisman süresi analizi olmak üzere dört bölüm halinde incelenmiştir.

### 2.1. Fazör Çözüm Metodu

MATLAB/Simulink ortamında sürekli, ayrık ve fazör olmak üzere üç çözüm yöntemi mevcuttur. Sürekli ve ayrık metodun simülasyon süresi mikro saniyeler ve dakikalar arasında değişkenlik göstermektedir. Fakat değişken adımlı entegrasyon algoritmasıyla çalışan yöntem olan fazör metodun zaman aralığı dakikalar ile yıllar arasındadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına ve bu kaynakların mikro şebekeye entegrasyonuna fırsat veren bu metotta elektromekanik osilasyonlar ve kararlılık çalışmaları yapılabilir. Buna ek olarak güç kalitesi, üst düzey kontrol stratejileri ve global çalışma stratejileri yenilenebilir enerji kaynaklı mikro şebekelere uygulanabilir. Bu çalışmada ise üretim birimi, depolama birimi ve yükler ile tasarlanan AA mikro şebekenin bir günlük çalışmasının benzetimi gerçekleştirilerek incelenmiştir.

### 2.2. AA Mikro Şebeke Modeli

Fazör modda çalışan üç fazlı fazlar arası gerilimi 380 Volt (V) etkin değere sahip olan mikro şebeke MATLAB/Simulink programında modellenmiştir. Mikro şebeke modeli Şekil 1'de görüldüğü gibi güç şebekesi, FV güç üretim birimi, enerji depolama birimi ve yükler olmak üzere dört bölümden oluşmaktadır.

#### • Güç Şebekesi

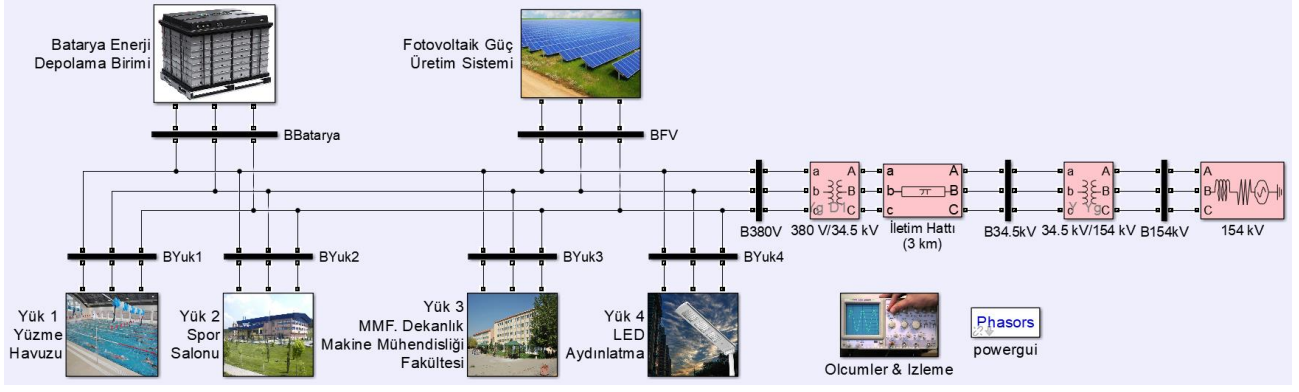
Üç fazlı 380 V AA'da çalışan mikro şebekeye, enerji talebi olduğu durumda güç şebekesinden enerji sağlanmaktadır. Güç şebekesinde 154 kV olan yüksek gerilim, düşürücü transformator aracılığıyla 34,5 kV orta gerilim seviyesine indirilmiştir. Üç kilometrelik iletim hattından sonra 34,5 kV gerilim seviyesi 380 V dağıtım gerilim seviyesine düşürülmüş ve AA mikro şebekeye bağlanmıştır.

#### • FV Güç Üretim Sistemi

Kontrollü akım kaynağı olarak modellenen fotovoltaik güç üretim birimi 24 saatlik çalışma süresince maksimum 100 kW enerji üretebilecek şekilde boyutlandırılmıştır.

#### • Batarya Enerji Depolama Birimi

Batarya enerji depolama biriminde iki farklı senaryo için 175 kWh ve 300 kWh olmak üzere iki farklı kapasite değeri belirlenmiştir. Batarya kontrollü akım kaynağı olarak modellenmiştir.



Şekil 1: ESOĞÜ Kampüsü için tasarlanan AA mikro şebeke modeli.

#### • Yük Tüketim Birimleri

Yükler yüzme havuzu, spor salonu, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dekanlığı (MMFD)-Makine Mühendisliği Fakültesi (MMF) ve LED armatürlü aydınlatma birimleri olmak üzere üniversite kampüsü içinde yer alan dört adet farklı yük grubundan oluşmaktadır. Yük tüketim birimleri benzer şekilde kontrollü akım kaynağı olarak modellenmiştir.

#### 2.3. Çalışma Senaryoları ve Simülasyon Sonuçları

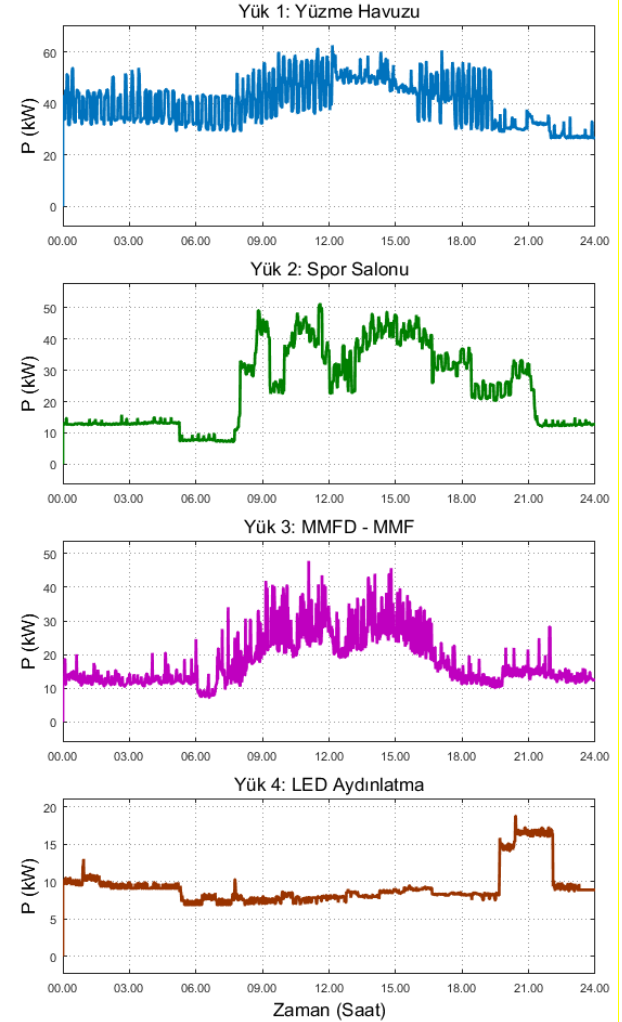
Çalışma senaryosu üretim, tüketim ve enerji depolama birimleri arasında ilişki kurarak bu birimlerin birlikte çalışmasını organize eder. Mikro şebekenin üretim ve tüketim durumuna göre enerji eksikliği-fazlalığı olduğu durumda bataryadan yada güç şebekesinden enerji ihtiyacını karşılama veya bataryaya yada güç şebekesine enerji sağlama durumunun belirleyicisi olmaktadır. Çalışma senaryoları, enerji tarifesine göre elektrik enerjisinin ucuz olduğu saatler için bataryanın güç şebekesinden şarj edilmesi, güç şebekesinin puant saatlerinde ise bataryanın mikro şebekeye enerji sağlaması prensibine göre organize edilmiştir. Yüzme havuzu, spor salonu, MMFD-MMF ve LED aydınlatma olmak üzere dört yük grubunun zamana göre değişimindeki en düşük ve en yüksek güç tüketim değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Mikro şebekenin bir günlük üretim-tüketim durumunun minimum ve maksimum değerleri

Yükler	Tüketim (kW)	
	Minimum	Maksimum
Yüzme Havuzu	26,4	62,72
Spor Salonu	7,2	51,5
MMFD-MMF	7,2	48,08
LED Aydınlatma	6,88	18,742

Şekil 2'de ise bir dakika aralıklarla kaydedilen yüklerin 24 saatlik değişimi verilmiştir. Şekillerin zaman eksenini saatlerdir. Yüklerin tüketimleri şekilden ve tablodan incelendiğinde oldukça değişken profillere sahip oldukları görülmektedir. Yük grupları içinde yüzme havuzu yükü en yüksek enerji tüketim değerine ve MMFD-MMF ise en değişken profile sahiptir. LED aydınlatma en düşük maksimum tüketim değerine ve diğer yük gruplarına göre daha az değişken yük tüketim profiline sahiptir. Toplam yük tüketimi ise 51,76 kW ile 156,76 kW arasında değişkenlik göstermektedir.

ESOGÜ için tasarlanan AA mikro şebeke modeli üç senaryo ile çalıştırılmış ve test edilmiştir. Çalışma senaryoları planlanırken AA mikro şebekenin üretim durumu, tüketim durumu, güç şebekesinin tarife düzenlemeleri ve puant saatler dikkate alınmıştır.



Şekil 2: Dört farklı yükün tüketim profilleri.

Bu çalışmada dağıtım sistemi kullanıcılarından enerji alan ve ticarethane abone tipine sahip olan ESOGÜ için Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'nun Tablo 2'de verilen çok zamanlı enerji tarifesi kullanılmıştır [9]. Bu tarifelere göre elektrik faturası hesaplanmıştır. Faturalar aktif enerji bedeli ve dağıtım bedelini içermekte, fon bedelleri ve katma değer vergisini içermemektedir.

Tablo 2: Çok zamanlı enerji tarifesi

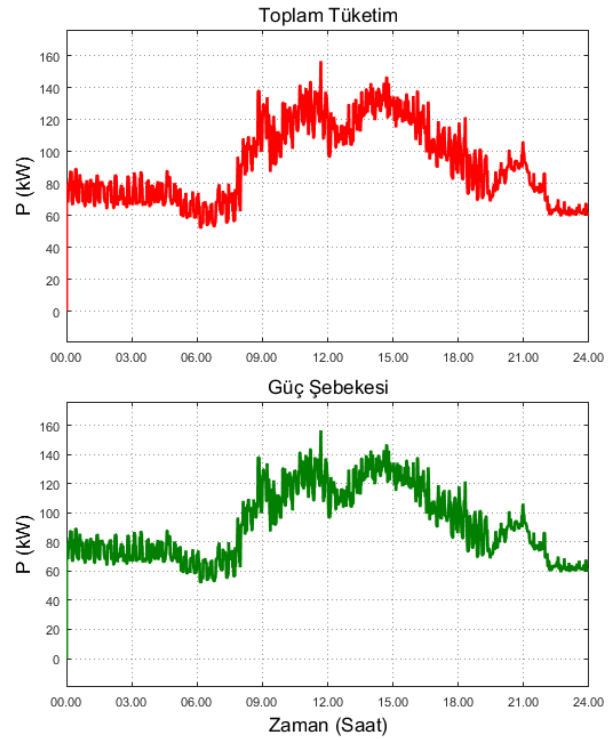
Tarife Türü	Saat Aralığı	Ticarethane (kr/kWh)	Dağıtım Bedeli (kr/kWh)
Gündüz	06.00-17.00	28,8615	11,7848
Puant	17.00-22.00	48,4640	
Gece	22.00-06.00	13,2646	

Genel yük kullanıcılarının talep yoğunluğu karakteristiğine göre bir gün üç bölünmüş ve gündüz, puant ve gece olarak isimlendirilmiştir. Çok zamanlı tarifede genel olarak tüketicilerin elektrik enerjisi kullanımının yoğunluğu ile fiyatlandırılması doğru orantılıdır. Örneğin 17.00-22.00 saatleri arası elektrik enerjisi talebinin en yoğun olduğu saatlerdir ve bu zaman aralığı çok zamanlı tarifede elektrik enerjisi birim fiyatının en pahalı olduğu dilimdir.

Hâlihazırda ESOGÜ faaliyet bazlı tüketici tarifeleri kapsamında dağıtım kullanıcılarından orta gerilim seviyesinde enerji almakta ve tek terimli enerji tarifesini kullanmaktadır. Fakat gelecekte mikro şebekelerin yaygınlaşmasıyla birlikte çok zamanlı enerji tarifesi kullanılacağı varsayılarak bu çalışma yapılmıştır. Bu çalışma ile mikro şebekeler ve çok zamanlı enerji tarifesi kullanımının fizibilitesi araştırılmıştır. Bu amaçla tasarımı yapılan AA mikro şebeke modelinin simülasyonu; karşılaştırma yapabilmek amacıyla mevcut durum, senaryo 1, senaryo 2 ve senaryo 3 alt başlıklarında incelenmiştir.

- *Mevcut Çalışma Durumu*

Mevcut çalışma durumunda mikro şebekenin yük grubuna sadece güç şebekesinden elektrik enerjisi sağlanmaktadır. Bu duruma göre toplam tüketim ve güç şebekesinden mikro şebekeye aktarılan güç Şekil 3'de verilmiştir. Sistemde başka herhangi bir enerji üretim kaynağı olmadığı için şekildeki "Toplam Tüketim" ve "Güç Şebekesi" grafikleri birbiri ile aynı eğriyi oluşturmaktadır. Yani toplam tüketimin tamamı güç şebekesinden karşılanmaktadır. Bu durumda herhangi bir kazanım söz konusu değildir.



Şekil 3: Mevcut durumda zamana göre toplam tüketim ve güç şebekesi gücü.

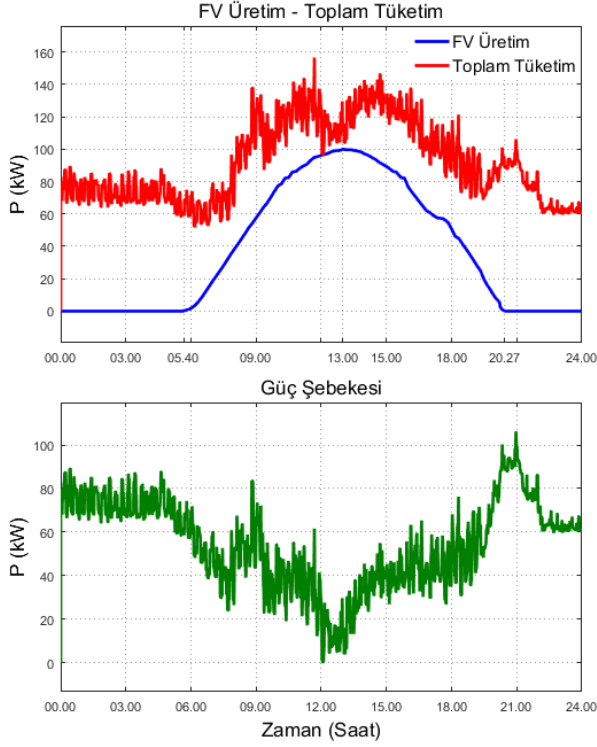
Mevcut çalışma durumu için enerji tüketimi, günlük ve aylık elektrik faturası hesaplanmış ve Tablo 3'de verilmiştir. Bu durumda elektrik faturası günlük 894,33 TL ve aylık 26.829,76 TL olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3: Enerji tüketimi ve elektrik faturası hesabı

Mevcut Durum Tüketim & Fatura	Çok Zamanlı Tarife		
	Gündüz	Puant	Gece
Tüketim (kWh)	1194,91	444,39	562,48
Fatura (TL)	485,69	267,74	140,90
Günlük Fatura (TL)	894,33		
Aylık Fatura (TL)	26.829,76		

- *Senaryo 1*

Senaryo 1'de mikro şebekenin yük grubuna güç şebekesi ve FV güç sistemi birlikte enerji sağlamaktadır. Senaryo 1'in en önemli bölümünü üretim ve tüketim arasındaki ilişki oluşturmaktadır. FV güç sisteminin üretim kapasitesi 0 kW ile 100 kW arasında değişkenlik göstermektedir. Toplam üretime karşın toplam tüketim incelendiğinde; her zaman için FV üretim toplam tüketimden daha düşük profilde seyretmektedir. Bu sebeple tüketim ve üretim farkı güç şebekesinden mikro şebekeye aktarılmıştır. Toplam tüketimle birlikte zamana göre FV enerji üretimi ve güç şebekesinden mikro şebekeye aktarılan güç Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4: Zamana göre FV üretim-toplam tüketim ve güç şebekesi gücü (Senaryo 1).

Senaryo 1 için enerji tüketimi, günlük ve aylık elektrik faturası hesaplanmış ve Tablo 4’de verilmiştir. Bu durumda elektrik faturası günlük 508,36 TL ve aylık 15.250,78 TL olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4: Enerji tüketimi ve elektrik faturası hesabı (Senaryo 1)

Tüketim & Fatura	Çok Zamanlı Tarife		
	Gündüz	Puant	Gece
Tüketim (kWh)	424,00	323,98	562,20
Fatura (TL)	172,34	195,19	140,83
Günlük Fatura (TL)	508,36		
Aylık Fatura (TL)	15.250,78		

- Senaryo 2

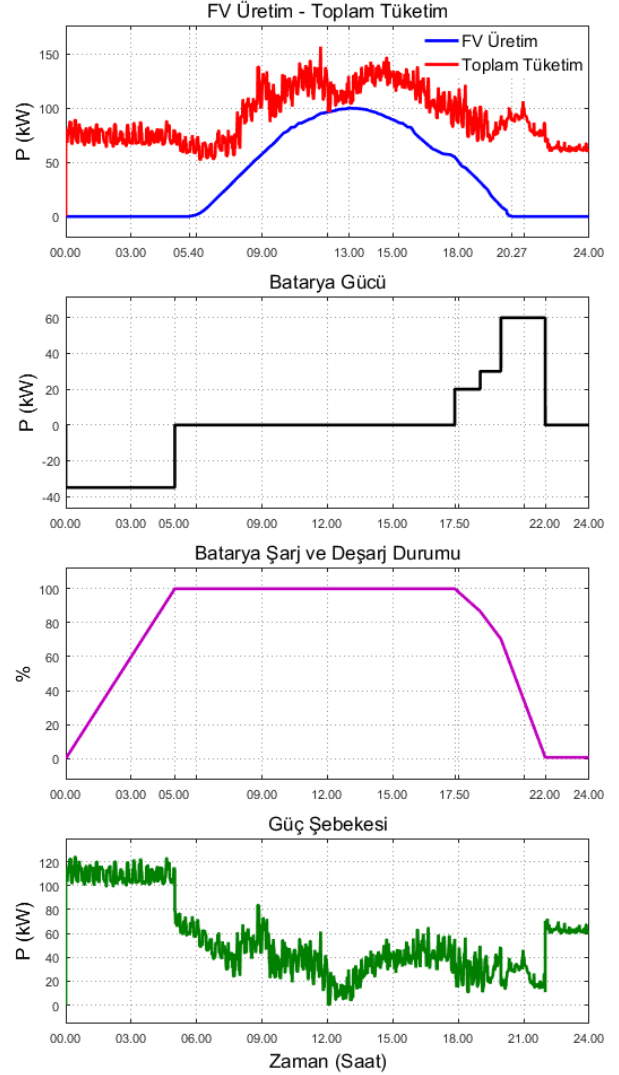
Senaryo 2’ye göre batarya 00.00-05.00 saatleri arasında sabit 35 kW güte şarj edilmek üzere toplamda 175 kWh enerjiye şarj edilmiştir. Bu zaman aralığında güç şebekesi hem mikro şebekenin yüklerine hem de bataryaya enerji sağlamıştır. Batarya kapasitesi 175 kWh olarak belirlenmiş ve %0 başlangıç şarj durumundan bu süre sonunda %100 şarj seviyesine ulaşmıştır.

05.00-17.50 saatleri arasında yükün enerji talebi öncelikli olarak FV güç sisteminden karşılanmıştır. FV güç sistemi tarafından üretilen enerji ile yükün talep ettiği enerji arasındaki fark güç şebekesinden mikro şebekeye aktarılmıştır. Bu zaman aralığında batarya %100 şarj seviyesindedir ve senaryo gereği kullanılmamıştır.

Güç şebekesinin puant saatlerine karşılık gelen 17.50-22.00 saatleri arasında mikro şebekenin enerji ihtiyacı hem güç

şebekesinden hem de bataryadan karşılanmıştır. 175 kWh enerji bu zaman aralığı sonunda %100 şarj seviyesinden %0 seviyesine kadar mikro şebekenin yüklerine kademeli olarak deşarj edilmiştir. Belirlenen zaman aralıklarında bataryadan mikro şebekeye sırasıyla 20 kW, 30 kW ve 60 kW güç aktarılmıştır. Bu zaman diliminde bataryadan mikro şebekeye toplam 175 kWh enerji sağlanmıştır.

Enerji tarifesinin ucuz olduğu zamanda şarj edilen batarya, puant saatte güç şebekesiyle birlikte mikro şebekeye enerji sağlamıştır. Senaryo 2’ye ait zamana göre FV üretim-toplam tüketim gücü, batarya gücü, bataryanın şarj ve deşarj durumu ve güç şebekesi gücünün grafikleri Şekil 5’de verilmiştir.



Şekil 5: Zamana göre FV üretim-toplam tüketim gücü, batarya gücü, bataryanın şarj ve deşarj durumu ve güç şebekesi gücü (Senaryo 2).

Senaryo 2 için enerji tüketimi, günlük ve aylık elektrik faturası hesaplanmış ve Tablo 5’de verilmiştir. Bu durumda elektrik faturası günlük 446,86 TL ve aylık 13.405,83 TL olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5: Enerji tüketimi ve elektrik faturası hesabı (Senaryo 2)

Tüketim & Fatura	Çok Zamanlı Tarife		
	Gündüz	Puant	Gece
Tüketim (kWh)	424,00	149,14	737,20
Fatura (TL)	172,34	89,86	184,66
Günlük Fatura (TL)	446,86		
Aylık Fatura (TL)	13.405,83		

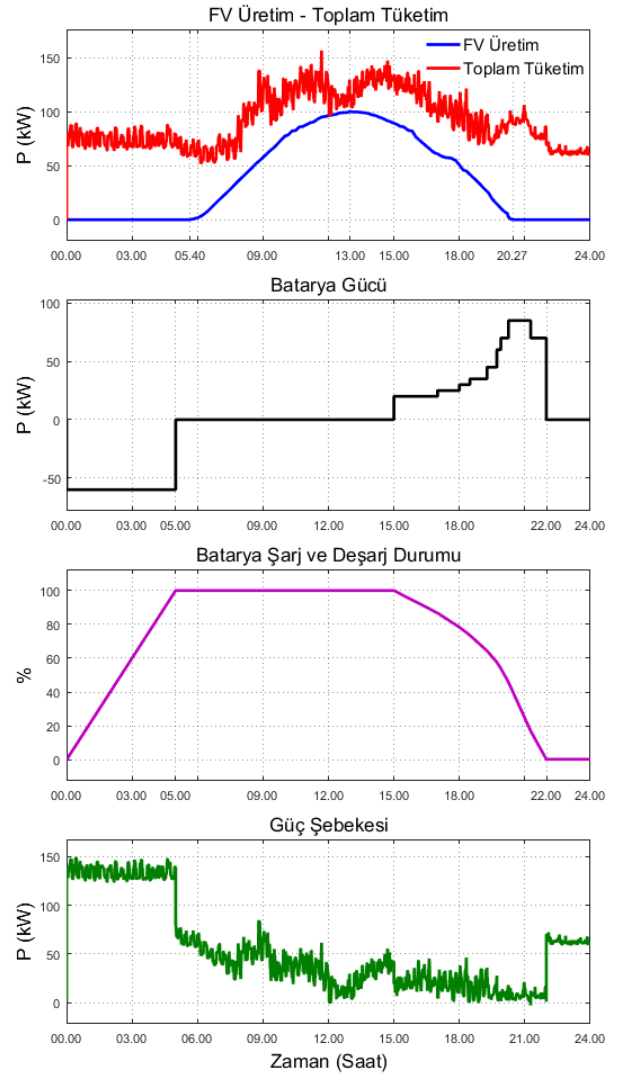
• *Senaryo 3*

Senaryo 3’e göre batarya 00.00-05.00 saatleri arasında sabit 60 kW olmak üzere toplamda 300 kWh enerjiye şarj edilmiştir. Bu saat aralığında güç şebekesi hem mikro şebekenin yüklerine enerji sağlamış hem de bataryayı şarj etmiştir. Bu senaryoda batarya kapasitesi 300 kWh olarak belirlenmiştir. %0 başlangıç şarj durumundan 5 saatlik süre sonunda %100 şarj seviyesine ulaşılmıştır.

05.00-15.00 saatleri arasında mikro şebekenin yüklerinin enerji talebi öncelikli olarak FV güç sisteminden karşılanmıştır. FV üretim ve toplam tüketimin farkı ise güç şebekesinden talep edilmiştir. Bu zaman aralığında batarya %100 şarj seviyesindedir ve senaryo gereği kullanılmamıştır.

15.00-17.00 saatleri arasında FV güç sistemi, batarya ve güç şebekesi mikro şebekeye enerji sağlamıştır. Bu iki saat süresince 20 kW sabit olmak üzere batarya mikro şebekeye 40 kWh enerji sağlamıştır.

Güç şebekesinin puant saatlerine karşılık gelen 17.00-22.00 saatleri arasında batarya mikro şebekeye kademeli olarak 260 kWh enerji sağlamıştır. Belirlenen zaman aralıklarında bataryadan mikro şebekeye sırasıyla 25 kW, 30 kW, 35 kW, 45 kW, 60 kW, 70 kW, 85 kW ve 70 kW güç aktarılmıştır. Batarya sabit bir değerde deşarj edilmek yerine zamana bağlı olarak kademeli şekilde deşarj edilmiştir. Böylece güç şebekesinin puant saatlerinde mikro şebekenin enerji ihtiyacının büyük bir bölümü bataryadan karşılanmıştır. Enerji tarifesinin ucuz olduğu zamanda şarj edilen batarya, puant saatte güç şebekesiyle birlikte mikro şebekeye enerji sağlamıştır. Senaryo 3’e ait zamana göre FV üretim-toplam tüketim gücü, batarya gücü, bataryanın şarj ve deşarj durumu ve güç şebekesi gücünün grafikleri Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 6: Zamana göre FV üretim-toplam tüketim gücü, batarya gücü, bataryanın şarj ve deşarj durumu ve güç şebekesi gücü (Senaryo 3).

Senaryo 3 için enerji tüketimi, günlük ve aylık elektrik faturası hesaplanmış ve Tablo 6’da verilmiştir. Bu durumda elektrik faturası günlük 410,35 TL ve aylık 12.310,53 TL olarak hesaplanmıştır.

Tablo 6: Enerji tüketimi ve elektrik faturası hesabı (Senaryo 3)

Tüketim & Fatura	Çok Zamanlı Tarife		
	Gündüz	Puant	Gece
Tüketim (kWh)	384,00	63,56	862,20
Fatura (TL)	156,08	38,29	215,98
Günlük Fatura (TL)	410,35		
Aylık Fatura (TL)	12.310,53		

2.4. Maliyet, Kâr ve Amortisman Süresi Analizi

ESOGÜ Kampüsü için gerçek tüketim verileri kullanılarak tasarlanan AA mikro şebekedeki bileşenler, bu bileşenlerin marka, model, güç ve adet bilgileri Tablo 7’de verilmiştir.

Çalışmada, ülkemizde güncel olarak piyasada temin edilebilecek güçte ve markada ürünler tercih edilmiştir.

Tablo 7: Mikro şebekede kullanılan bileşenlerin marka, model, güç ve adet bilgileri

Bileşenler	FV Güç Sistemi	Evirici	Batarya Enerji Depolama Birimi
Marka	CW Enerji	ABB	Volan Akü
Model	CWT290-60PP	TRIO-50.0-TL-OUTD	Jel tip 12V 200Ah solar akü
Güç	290W/adet	50kW/adet	2,4kWh/adet
Adet	345	2	73 (175kWh için) 125 (300kWh için)

AA mikro şebeke üç farklı çalışma senaryosu ile test edilmiştir. Mevcut çalışma durumu ve senaryolar, sistem bileşenleri, toplam maliyet, elektrik faturalarındaki kâr oranları ve amortisman süreleri açısından karşılaştırılmış ve Tablo 8’de verilmiştir. AA mikro şebekede kullanılan her bir bileşenin maliyeti sistem maliyetini, kâr ve amortisman süresini doğrudan etkilemektedir. Bu sebeple, bu çalışmada fiyat araştırması 100kW’lık üretim kapasitesine sahip şebeke bağlantı mikro şebeke için yapılmış ve maliyet hesaplamalarında 14.06.2018 tarihindeki döviz kuru esas alınmıştır. Mikro şebekenin üretim kapasitesi arttıkça satın alınan bileşen ve hizmetlerin birim fiyatında düşüş gözlenmektedir.

Tablo 8: Maliyet, kâr ve amortisman süresi analizi

Maliyet, Kâr ve Amortisman Süresi	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
Sistem Bileşenleri	FV Evirici Konstrüksiyon, kablolama, pano ve kurulum	FV Evirici Batarya Konstrüksiyon, kablolama, pano ve kurulum	FV Evirici Batarya Konstrüksiyon, kablolama, pano ve kurulum
Toplam Maliyet (TL)	392.711,93	508.938,91	591.730,73
Kâr (%)	43,16	50,03	54,12
Amortisman Süresi (Ay)	33,92 ≈ 34	37,91 ≈ 38	40,75 ≈ 41

Senaryo 1’de güç şebekesi ile birlikte FV güç sisteminden yararlanılmıştır. Yüklerin ihtiyacı öncelikli olarak FV güç sisteminden karşılanmıştır. FV güç sisteminin olmadığı yâda yetersiz olduğu durumlarda mikro şebeke güç şebekesinden beslenmiştir. Mevcut çalışma durumu ile senaryo 1 karşılaştırıldığında elektrik faturasında %43,16 oranında bir avantaj sağlanmıştır. Ayrıca mevcut duruma göre senaryo 1’in amortisman süresi yaklaşık 34 ay olarak hesaplanmıştır.

Senaryo 2’de bataryanın şarjı için güç şebekesi kaynak olarak değerlendirilmiş ve elektrik enerjisinin ucuz olduğu zaman aralığı seçilmiştir. Bataryanın deşarj zamanı için ise güç şebekesinin puant zaman dilimi seçilmiştir. Batarya mikro şebekeye kademeli olarak enerji sağlamıştır. Böylece mikro

şebekenin güç şebekesiyle enerji alışverişinde ekonomi kavramı önem kazanmıştır. Mevcut çalışma durumu ile senaryo 2 karşılaştırıldığında elektrik faturasında %50,03 oranında bir avantaj sağlanmıştır. Buna ek olarak Senaryo 2’nin amortisman süresi mevcut duruma göre yaklaşık 38 ay olarak hesaplanmıştır.

Senaryo 3’de Senaryo 2’de olduğu gibi şarj için kaynak olarak güç şebekesi kullanılmış ve elektrik tarifesinin ucuz olduğu zaman aralığı seçilmiştir. Bataryanın deşarj zamanı için ise güç şebekesinin gündüz ve puant zaman dilimleri seçilmiş ve bataryadan kademeli deşarj ile mikro şebekeye enerji aktarılmıştır. Mevcut çalışma durumu ile senaryo 3 karşılaştırıldığında elektrik faturasında %54,12 oranında avantaj sağlanmıştır. Bu kârlılık oranına ek olarak senaryo 3’ün amortisman süresi yaklaşık 41 ay olarak hesaplanmıştır.

Senaryo 2 ve Senaryo 3’de kullanılan belirli zamanlarda kademeli batarya deşarjı stratejisi ile hem güç şebekesinden hemde FV güç sisteminden optimum şekilde yararlanılmış ve mikro şebekeye enerji temini sağlanmıştır. Böylece, bataryanın şarj ve deşarj dilimlerinin zamana bağlı olarak değiştirilmesi ile enerji depolama biriminin de optimizasyonu sağlanmaktadır.

Mevcut duruma göre önerilen senaryolar kâr, sistem bileşenleri ve maliyet ve amortisman süresi açısından incelendiğinde; en yüksek maliyet ile birlikte en yüksek kâr payı Senaryo 3’e, en düşük kâr payı ve en düşük maliyet ise senaryo 1’e aittir. Tablo incelendiğinde Senaryo 2 ve Senaryo 3’ün kârlılık ve amortisman sürelerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Senaryo 3’de kullanılan batarya Senaryo 2’de kullanılan bataryadan 125 kWh daha fazla enerji depolama kapasitesine sahiptir. Aradaki bu fark ile daha çok kâr ve daha kısa amortisman süresi beklenmektedir. Fakat Senaryo 2 ve Senaryo 3’ün kâr ve amortisman süreleri çok yakın değerlere sahiptir. Mevcut durum ile birlikte senaryolar genel olarak değerlendirildiğinde maliyet, kâr ve amortisman süresi açısından en optimum senaryonun Senaryo 2 olduğu sonucuna varılmıştır.

### 3. Sonuçlar ve Değerlendirme

ESOGÜ Kampüsünde belirlenen yük grupları için güneş enerjisi kaynaklı bir AA mikro şebeke tasarlanmıştır. Mikro şebekenin tüm yükünü güç şebekesinden karşılamak yerine FV güç üretim birimi ve depolama biriminden destek sağlanmıştır. FV güç sisteminin yükler karşısında yetersiz kaldığı durumda ise üç farklı senaryoya göre güç şebekesi-FV üretim veya güç şebekesi-FV üretim-batarya kombinasyonları yüklerle enerji sağlamıştır. FV üretim biriminin tüm potansiyeli mikro şebekenin değişken tüketim profiline sahip yüklerini beslemek için kullanılmıştır. Bataryanın zamana göre şarj-deşarj durumunun planlanması ile enerji depolama biriminden optimum şekilde faydalanılmıştır. Senaryolar maliyet, kâr ve amortisman süresi açısından değerlendirilmiş ve en uygun çalışmanın Senaryo 2 olduğu belirlenmiştir. Çalışmanın MATLAB/Simulink ortamında yeni bir uygulama modeli olan fazör mod ile yapılmış olması, modellemenin 24 saatlik zaman aralığını incelenmesine olanak vermiş ve geniş zaman aralıkları için üretim, depolama ve tüketim birimlerinin davranışları daha net incelenebilmiştir. Ayrıca oluşturulan senaryolarda elektrik tüketiminde çok zamanlı tarife

kullanımının mikro şebekelerde optimizasyon için daha efektif bir planlama ve daha verimli bir çalışma düzeni oluşturduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmanın bir sonraki adımı olarak boyutlandırma optimizasyonu üzerinde çalışılacak ve ESOĞÜ Kampüsü için yapılacak bir mikro şebeke çalışması için en optimum ekipman boyutlarının akıllı algoritmalar ile belirlenmesi planlanmaktadır.

#### 4. Kaynaklar

- [1] Dünya ve Türkiye enerji ve tabii kaynaklar görünümü, Web adresi:  
[http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2f1%2fDocuments%2fEnerji%20ve%20Tabii%20Kaynaklar%20G%C3%B6r%C3%BCn%C3%BCm%2fSayi\\_15.pdf](http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2f1%2fDocuments%2fEnerji%20ve%20Tabii%20Kaynaklar%20G%C3%B6r%C3%BCn%C3%BCm%2fSayi_15.pdf), Erişim Tarihi: 17.06.2017.
- [2] Shuai, Z., Sun, Y., Shen, Z.J., Tian, W., Tu, C., Li, Y. ve Yin, X, “Microgrid Stability: Classification and a Review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 167-179, 2016.
- [3] Minchala-Avila, L.I., Garza-Castañón, L.E., Vargas-Martínez, A. ve Zhang, Y., “A Review Of Optimal Control Techniques Applied To The Energy Management And Control Of Microgrids”, *Procedia Computer Science*, 52, 780-787, 2015.
- [4] Hossain, E., Kabalci, E., Bayindir, R. ve Perez, R., “Microgrid Testbeds Around the World: State of Art”, *Energy Conversion and Management*, 86, 132-153, 2014.
- [5] Karavas, C-S., Kyriakarakos, G., Arvanitis, K.G. ve Papadakis, G., “A Multi-Agent Decentralized Energy Management System Based On Distributed Intelligence For The Design And Control Of Autonomous Polygeneration Microgrids”, *Energy Conversion and Management*, 103, 166-179, 2015.
- [6] Ross, M., Hidalgo, R., Abbey, C. ve Joós, G., “Energy Storage System Scheduling For An Isolated Microgrid”, *IET Renewable Power Generation*, 5, 117-123, 2011.
- [7] Fu, Q., Montoya, L.F., Solanki A., Nasiri, A., Bhavaraju, V., Abdallah, T. ve Yu D.C., “Microgrid Generation Capacity Design With Renewables And Energy Storage Addressing Power Quality And Surety”, *IEEE Transactions On Smart Grid*, 3, 2019-2027, 2012.
- [8] Junga, J., Villaran, M., “Optimal Planning And Design Of Hybrid Renewable Energy Systems For Microgrids”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 180-191, 2017.
- [9] Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu; 2018 Perakende Elektrik Tarife Tabloları, Web adresi:  
<https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari>, Erişim Tarihi: 30.07.2018.