

Hibrit Mikro Şebekeler İçin Enerji Depolama  
Seçimi ve Maliyet Optimizasyonu



# HİBRİT MİKRO ŞEBEKELER İÇİN ENERJİ DEPOLAMA SEÇİMİ VE MALİYET OPTİMİZASYONU

Rabia Şeyma YILMAZ<sup>A</sup>, Şafak BAYKAL<sup>A</sup>, Alper TERCİYANLI<sup>A</sup>,  
Erman TERCİYANLI<sup>A</sup>, Abdullah GÖKER<sup>B</sup>, Zeki ŞENTÜRK<sup>B</sup>

<sup>A</sup> Endoks Enerji A.Ş., Ankara

<sup>B</sup> Çamlıbel Elektrik Dağıtım A.Ş., Sivas

# İçerik

- Çıkış Noktası
- İlgili Çalışmalar
- Optimizasyon Modeli
- Vaka Çalışması
- Sonuçlar

# Çıkış Noktası


Etkenler, Çalışmalar


 ● Birleşmiş Milletler'in 7 numaralı sürdürülebilir gelişim amacı: Düşük maliyetli ve temiz enerji [1]



 ● 10 insandan 9'unun elektriğe erişimi bulunmaktadır.[2]

 ● Elektriksiz yaşayan 840 milyon insanın %87'si kırsal alandadır.[1]

 ● Elektrik tüketiminin %15'i yenilenebilir enerji kaynakları ile sağlanmaktadır.[1]

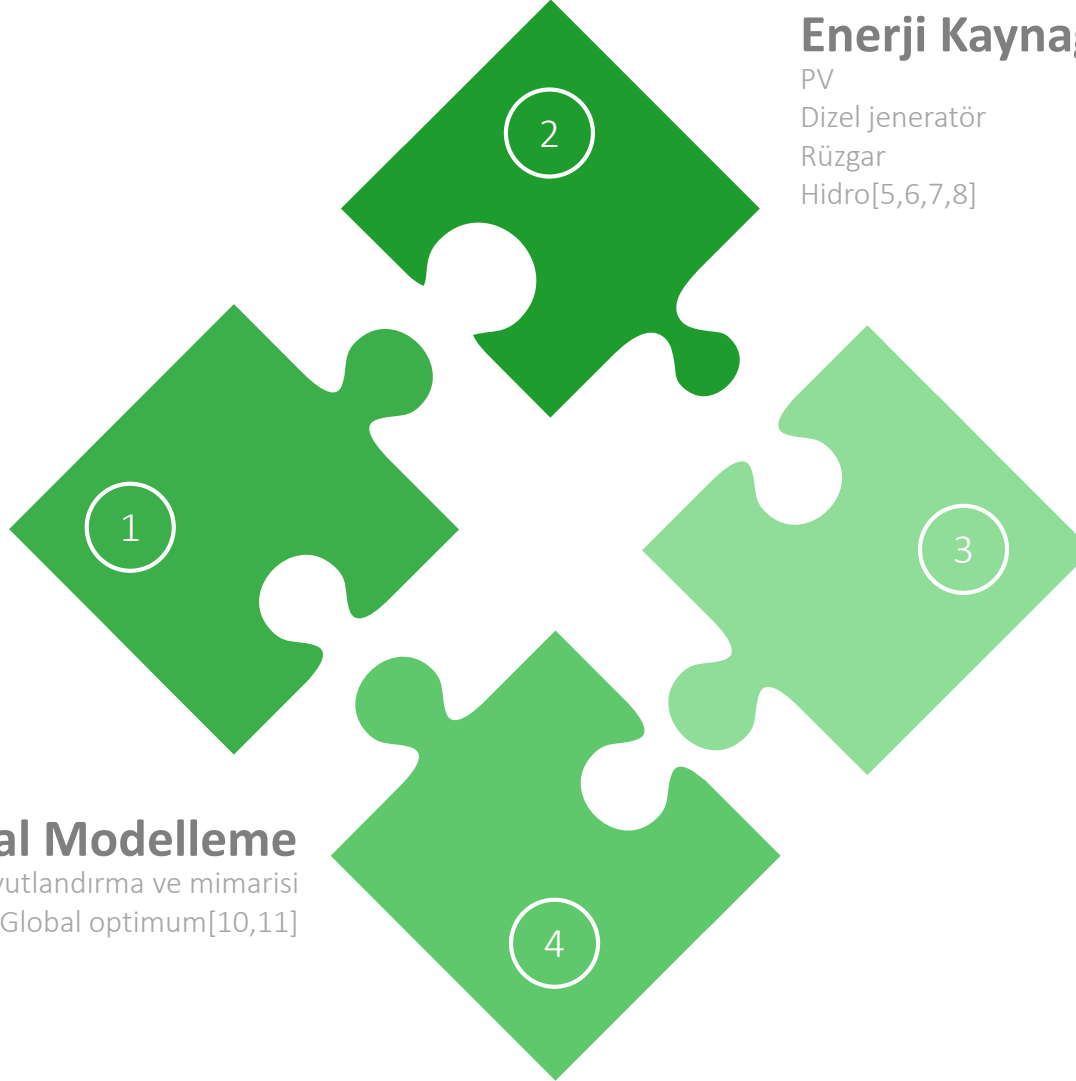
 ● 2030 yılına kadar tüm dünya nüfusunun güvenilir, uygun maliyetli, modern elektriğe ulaşması amaçlanmaktadır.[1]

# İlgili Çalışmalar

Önerilen Metoda Etki Eden Nedenler

## Hibrit Mikro Şebeke

Şebekeye bağlı veya şebekeden bağımsız[6]



## Enerji Kaynağı Çeşitlendirmesi

PV  
Dizel jeneratör  
Rüzgar  
Hidro[5,6,7,8]

## Uzun Süreli Projeksiyon

Elektrik talebinin modelde uzun süreli projeksiyonu [9]

## Doğrusal Modelleme

En uygun boyutlandırma ve mimarisi  
Global optimum[10,11]

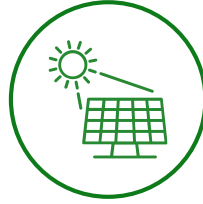
# Optimizasyon Modeli

Model Bileşenleri

## MODEL BİLEŞENLERİ

### Yenilenebilir Enerji Modeli

PV panellerden üretilen enerji modeli

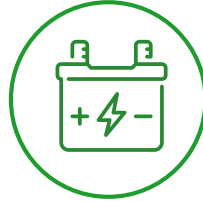


### Jeneratör Modeli

Batarya ve üretimin yetersiz geldiği zamanlar için jeneratör modeli

### Depolama Sistemi Modeli

Üretim fazlasının depolandığı batarya modeli



### Enerji Modeli

Her zaman enerji talebinin karşılanmasına zorlayan enerji modeli



### Amaç Fonksiyonu

Depolama, PV panel ve jeneratörün ilk kurulum, operasyon ve işletme maliyetlerini enazlamaya çalışan amaç fonksiyonu

# Optimizasyon Modeli

## Yenilenebilir Enerji Modeli

### Parametreler ve Açıklamaları

Adı	Açıklama
t	Yılın periyotlara bölümü
$TPE_t$	t zamanındaki toplam PV enerjisi
$PE_t$	t zamanında bir PV panelden üretilen enerji
IV	Inverter verimliliği
PA	PV panel adedi

PV panellerden elde edilen  
toplam enerji



$$TPE_t = PE_t * IV * PA$$



Her bir periyotta bir PV panelinin ürettiği  
enerjinin, PV adedi ve inverter verimliliği ile  
çarpılması

# Optimizasyon Modeli

## Depolama Sistemi Modeli

### Parametreler ve Açıklamaları

Adı	Açıklama
t	Yılın periyotlara bölümü
BŞDt	t zamanındaki bataryanın şarj seviyesi
BŞEt	t zamanında bataryayı şarj eden enerji
BDEt	t zamanında bataryayı deşarj eden enerji
BŞV	Bataryanın şarj verimliliği
BDV	Bataryanın deşarj verimliliği
BK	Batarya kapasitesi
DD	Bataryanın deşarj derinliği
MŞG	Maksimum şarj gücü
MDG	Maksimum deşarj gücü

Bataryanın bir sonraki periyottaki şarj durumu

$$B\dot{S}D_t = B\dot{S}D_{t-1} - \frac{BDE_t}{BDV} + B\dot{S}E_t * B\dot{S}V$$

Bataryanın bir önceki periyottan gelen şarj miktarı ile eklenen şarj çıkarılan deşarj miktarı

Batarya şarj durumu deşarj derinliği altına inemez

$$BK * DD \leq B\dot{S}D_t \leq BK$$

Batarya şarj durumu kapasitenin üzerine çıkamaz

Maksimum şarj gücünden fazla şarj edilmez  
Maksimum deşarj gücünden fazla enerji çekilemez

$$\left\{ \begin{array}{l} B\dot{S}E_t \leq M\dot{S}G \\ BDE_t \leq MDG \end{array} \right.$$



# Optimizasyon Modeli

## Jeneratör Modeli

### Parametreler ve Açıklamaları

Adı	Açıklama
t	Yılın periyotlara bölümü
KDM <sub>t</sub>	t zamanında kullanılan dizel miktarı
JE <sub>t</sub>	t zamanında jeneratörden üretilen enerji
JV	Jeneratör verimliliği
AID	Alt ısııl değer
JK	Jeneratör kapasitesi

Kullanılan dizel miktarı

$$KDM_t = \frac{JE_t}{JV * AID}$$

Üretilen enerjinin, dizelin alt ısııl değeri ve jeneratöre verimliliğine oranı

Jeneratör, jeneratör kapasitesinden fazla üretemez

$$JK \geq JE_t$$

# Optimizasyon Modeli

## Enerji Modeli

### Parametreler ve Açıklamaları

Adı	Açıklama
t	Yılın periyotlara bölümü
ET <sub>t</sub>	t zamanındaki enerji talebi
BŞEt	t zamanında bataryayı şarj eden enerji
BDEt	t zamanında bataryayı deşarj eden enerji
JEt	t zamanında jeneratörden üretilen enerji
TPEt	t zamanındaki toplam PV enerjisi
EFt	t zamanındaki enerji fazlası
ŞKTt	t zamanında şebekeden karşılanan talep
ŞÇY	Şebekeden çekilmesine izin verilen yüzdelik

$$ET_t = TPE_t + JE_t - BŞE_t + BDE_t - EF_t + ŞKT_t$$

Enerji talebi

Jeneratör üretim

Enerji fazlası

PV Üretim

Batarya şarj ve deşarj

Şebekeden karşılanan talep

Şebekeden karşılanan talep miktarının kısıtı

$$ŞÇY \geq \frac{\sum_t ŞKT_t}{\sum_t ET_t}$$

# Optimizasyon Modeli

## Amaç Fonksiyonu

### Parametreler ve Açıklamaları

Adı	Açıklama
t	Yılın periyotlara bölümü
İYM	İlk yatırım maliyeti
OBM	Operasyon bakım maliyeti
BYM	Batarya yenilenme maliyeti
TDM	Toplam dizel maliyeti
ŞEM	Şebekeden çekilen enerjinin maliyeti
PYM	Bir PV panel yatırım maliyeti
PK	Bir PV panel kapasitesi
BM	Birim batarya yatırım maliyeti
JYM	Birim jeneratör yatırım maliyeti
OBP	PV operasyon bakım maliyeti
OBB	Batarya operasyon bakım maliyeti
OBJ	Jeneratör operasyon bakım maliyeti
PBM	PV yatırımın operasyon maliyeti kısmı(%)
JBM	Jeneratör yatırımın operasyon maliyeti kısmı(%)
BBM	Batarya yatırımın operasyon maliyeti kısmı(%)
BYS	Batarya yenilenme süresi
IO	İndirim oranı
DM	Birim dizel maliyeti
ŞÇM	Şebekeden çekilen enerjinin maliyeti
n	Projenin yıl cinsinden süresi

$$\min IYM + OBM + BYM + TDM + \text{ŞEM}$$

$$IYM = (PYM * PK * PA + BK * BM + JYM * JK)$$

İlk yatırım maliyeti;  
PV panel, batarya ve  
jeneratör maliyeti

$$OBP = PYM * PK * PA * PBM$$

$$OBB = BK * BM * BBM$$

$$OBJ = JYM * JK * JBM$$

Pv panel, batarya ve  
jeneratör operasyon  
ve bakım maliyeti

$$BYM = \frac{BK * BM}{(1 + IO)^{BYS}}$$

Batarya yenileme maliyeti

$$TDM = \sum_n \frac{\sum_t KDM_t * DM}{(1 + IO)^n}$$

Kullanılan dizelin  
maliyeti

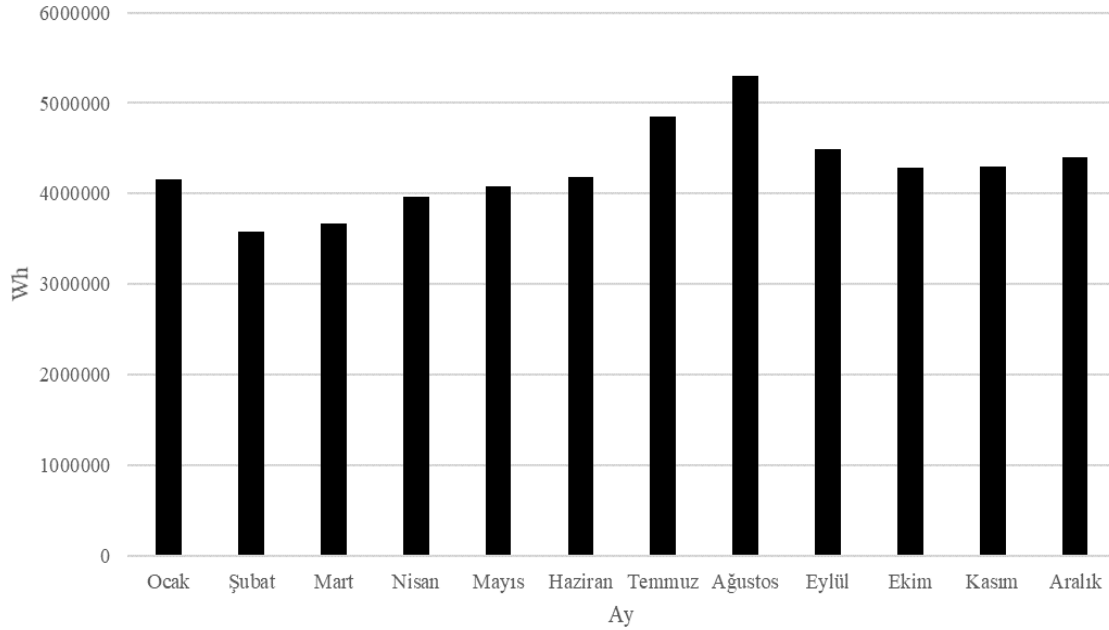
$$\text{ŞEM} = \sum_n \frac{\sum_t \text{ŞKT}_t * \text{ŞÇM}}{(1 + IO)^n}$$

Şebekeden çekilen  
enerjinin maliyeti

# Vaka Çalışması

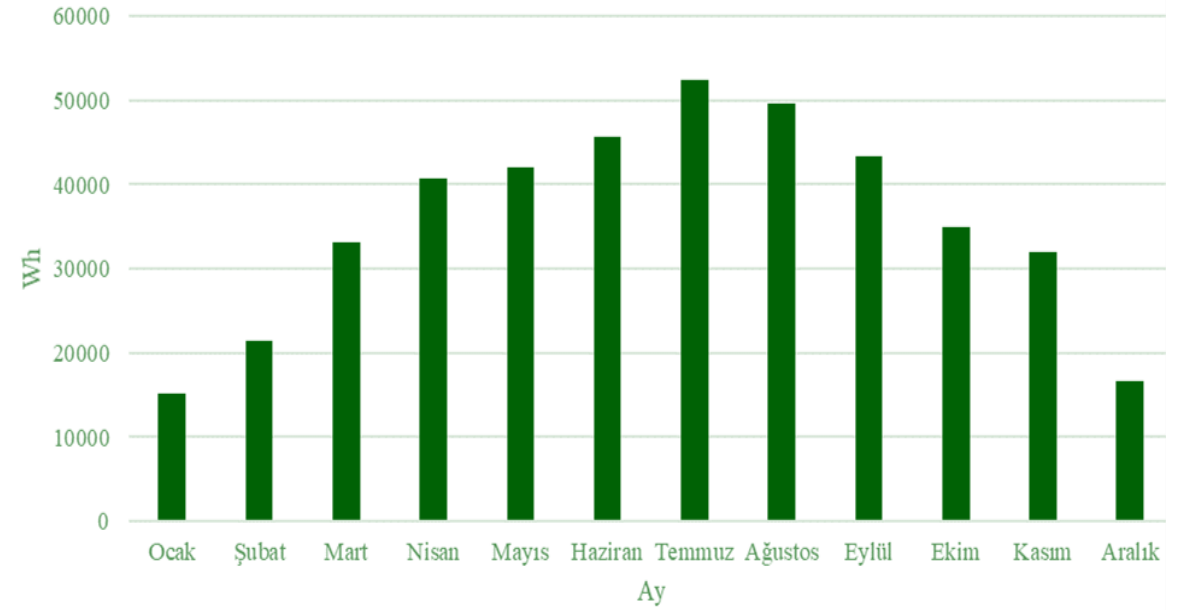
Sivas – Küpecik Köyü

Küpecik Köyü Aylık Toplam Enerji Talebi



Sivas ile Küpecik köyü 1 yıllık tüketim verileri saatlik olarak kullanılmıştır.

Bir PV Panelinin Aylık Üretim Değerleri



265 W'lık PV panel ile üretilebilecek bir yıllık enerji değerleri Coğrafik Fotovoltaik Bilgi Sistemi [12] yardımı ile hesaplanmıştır.

# Vaka Çalışması

## Senaryolar ve Sonuçları

<b>Batarya Boşalma Süresi</b>	>	Batarya Boşalma Süresi = 1c Jeneratör yok Şebekeden çekmeye izin yok	<b>01</b> Senaryo
<b>Batarya Boşalma Süresi</b>	>	Batarya Boşalma Süresi = 2c Jeneratör yok Şebekeden çekmeye izin yok	<b>02</b> Senaryo
<b>Batarya Boşalma Süresi</b>	>	Batarya Boşalma Süresi = 3c Jeneratör yok Şebekeden çekmeye izin yok	<b>03</b> Senaryo
<b>Şebekeden Beslenme</b>	>	Batarya Boşalma Süresi = 3c Jeneratör yok %10'luk şebekeden enerji çekme izni	<b>04</b> Senaryo

<b>Şebekeden Beslenme</b>	>	Batarya Boşalma Süresi = 3c Jeneratör yok %30'luk şebekeden enerji çekme izni	<b>05</b> Senaryo
<b>Jeneratör Etkisi</b>	>	Batarya Boşalma Süresi = 3c Jeneratör var Şebekeden çekmeye izin yok	<b>06</b> Senaryo
<b>Jeneratör Etkisi</b>	>	Batarya Boşalma Süresi = 3c Jeneratör var %10'luk şebekeden enerji çekme izni	<b>07</b> Senaryo
<b>Jeneratör Etkisi</b>	>	Batarya Boşalma Süresi = 3c Jeneratör var %30'luk şebekeden enerji çekme izni	<b>08</b> Senaryo

# Vaka Çalışması

## Senaryolar ve Sonuçları

### Batarya Boşalma Süresi

Batarya Boşalma Süresi = 1c  
Jeneratör yok  
Şebekeden çekmeye izin yok

01  
Senaryo

### Batarya Boşalma Süresi

Batarya Boşalma Süresi = 2c  
Jeneratör yok  
Şebekeden çekmeye izin yok

02  
Senaryo

### Batarya Boşalma Süresi

Batarya Boşalma Süresi = 3c  
Jeneratör yok  
Şebekeden çekmeye izin yok

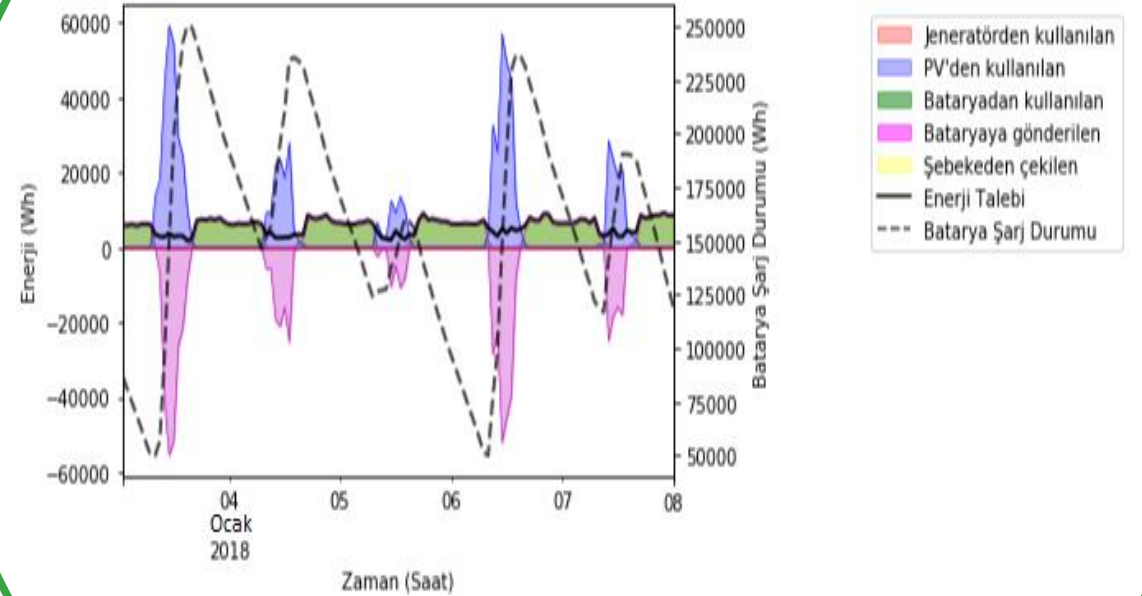
03  
Senaryo

### Şebekeden Beslenme

Batarya Boşalma Süresi = 3c  
Jeneratör yok  
%10'luk şebekeden enerji çekme izni

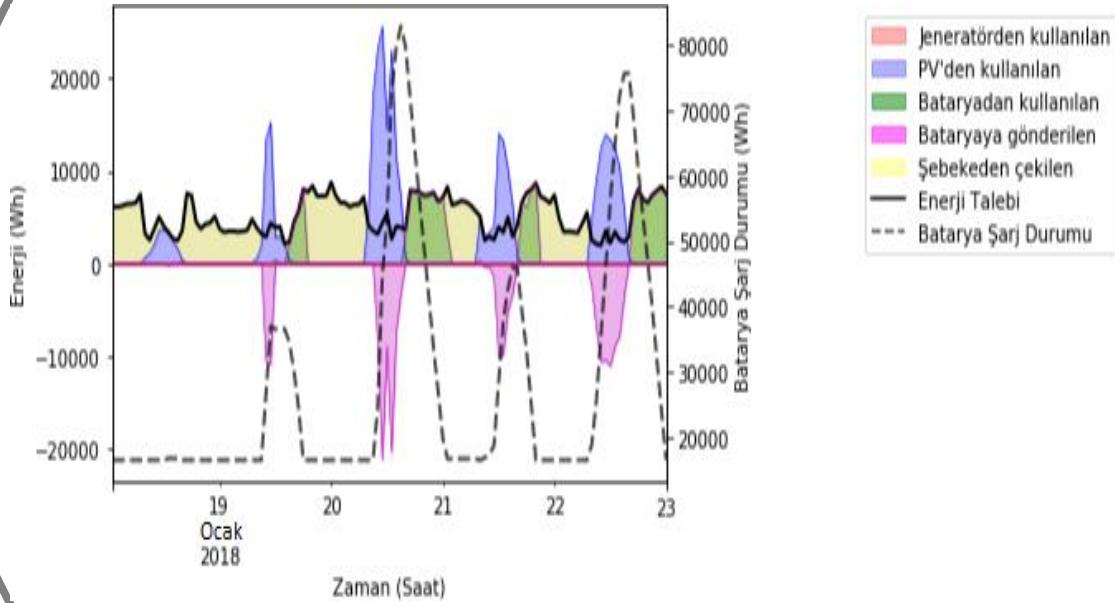
04  
Senaryo

## Batarya Boşalma Süresi Senaryo 3



	Panel Boyutu(W)	Batarya Boyutu(Wh)	Jeneratör Boyutu(W)	Toplam Maliyet (\$)
Senaryo 1	298552.2	266155.9	0.0	590605.9
Senaryo 2	287425.2	255266.2	0.0	567594.8
<b>Senaryo 3</b>	<b>282445.2</b>	<b>250402.9</b>	<b>0.0</b>	<b>557306.9</b>

### Şebekeden Beslenme Senaryo 5



	Panel Boyutu(W)	Batarya Boyutu(Wh)	Jeneratör Boyutu(W)	Toplam Maliyet (\$)
Senaryo 4	51478.9	123422.6	0.0	185794.5
Senaryo 5	32669.1	82814.3	0.0	132232.9

### Şebekeden Beslenme

Batarya Boşalma Süresi = 3c  
Jeneratör yok  
%30'luk şebekeden enerji çekme izni

05

Senaryo

### Jeneratör Etkisi

Batarya Boşalma Süresi = 3c  
Jeneratör var  
Şebekeden çekmeye izin yok

06

Senaryo

### Jeneratör Etkisi

Batarya Boşalma Süresi = 3c  
Jeneratör var  
%10'luk şebekeden enerji çekme izni

07

Senaryo

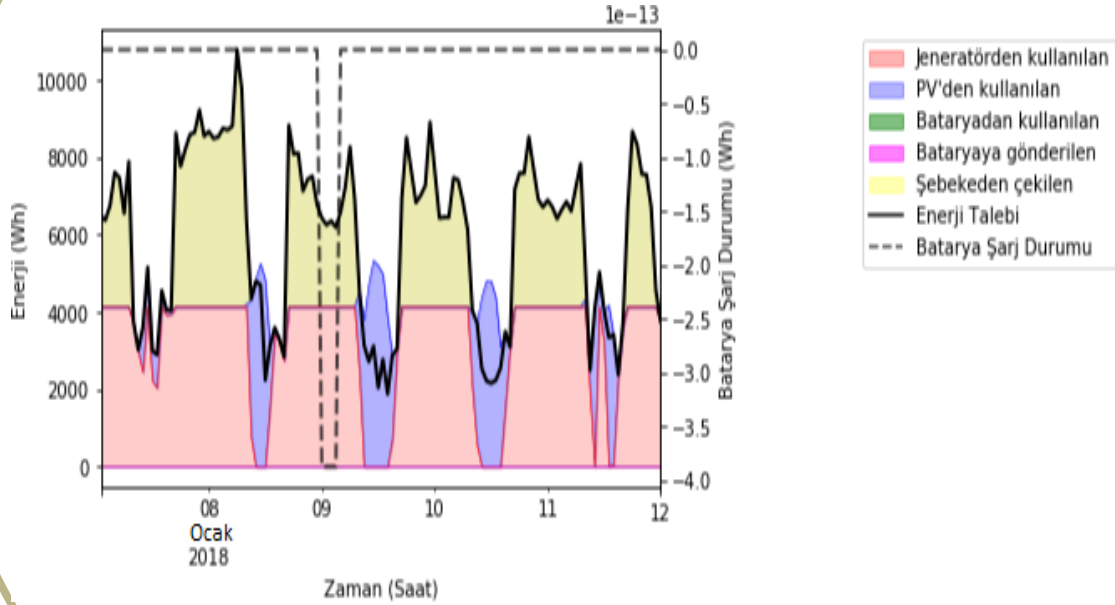
### Jeneratör Etkisi

Batarya Boşalma Süresi = 3c  
Jeneratör var  
%30'luk şebekeden enerji çekme izni

08

Senaryo

### Jeneratör Etkisi Senaryo 8



	Panel Boyutu(W)	Batarya Boyutu(Wh)	Jeneratör Boyutu(W)	Toplam Maliyet (\$)
<b>Senaryo 6</b>	11807.4	2346.4	13297.9	149835.3
<b>Senaryo 7</b>	11592.0	0.0	6544.6	133547.9
<b>Senaryo 8</b>	11600.6	0.0	4138.3	106170.4

### Şebekeden Beslenme

Batarya Boşalma Süresi = 3c  
Jeneratör yok  
%30'luk şebekeden enerji çekme izni

05

Senaryo

### Jeneratör Etkisi

Batarya Boşalma Süresi = 3c  
Jeneratör var  
Şebekeden çekmeye izin yok

06

Senaryo

### Jeneratör Etkisi

Batarya Boşalma Süresi = 3c  
Jeneratör var  
%10'luk şebekeden enerji çekme izni

07

Senaryo

### Jeneratör Etkisi

Batarya Boşalma Süresi = 3c  
Jeneratör var  
%30'luk şebekeden enerji çekme izni

08

Senaryo



# Vaka Çalışması

## Senaryolar ve Sonuçları

- En verimli batarya, **3C batarya boşalma süresi** ile çalışmıştır.
- Dizel jeneratör** eklenerek maliyet büyük oranda düşmektedir.
- Depolama sisteminin boyutlarını makul ölçülerde tutmak için akşam saatlerinde **şebekeden enerji çekilmesine** izin verilmelidir.

	Batarya Boşalma Süresi	Şebekeden Beslenme	Jeneratör Durumu	Panel Boyutu(W)	Batarya Boyutu(Wh)	Jeneratör Boyutu(W)	Toplam Maliyet (\$)
<b>Senaryo 1</b>	1C	Yok	Yok	298552.2	266155.9	0.0	590605.9
<b>Senaryo 2</b>	2C	Yok	Yok	287425.2	255266.2	0.0	567594.8
<b>Senaryo 3</b>	3C	Yok	Yok	282445.2	250402.9	0.0	557306.9
<b>Senaryo 4</b>	3C	%10	Yok	51478.9	123422.6	0.0	185794.5
<b>Senaryo 5</b>	3C	%30	Yok	32669.1	82814.3	0.0	132232.9
<b>Senaryo 6</b>	3C	Yok	Var	11807.4	2346.4	13297.9	149835.3
<b>Senaryo 7</b>	3C	%10	Var	11592.0	0.0	6544.6	133547.9
<b>Senaryo 8</b>	3C	%30	Var	11600.6	0.0	4138.3	106170.4

# Kaynakça

- [1] UN, Sustainable development goals (2015). <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>
- [2] International Energy Agency, World Energy Outlook 2018, White Paper, IEA, 2018.
- [3] M. F. Gomez, S. Silveira, Rural electrification of the brazilian amazon achievements and lessons, Energy Policy 38 (10) (2010) 6251 – 6260, the socio-economic transition towards a hydrogen economy-findings from European research, with regular papers.
- [4] G. Rauniyar, A. Morales, V. Melo, Asian development banks assistance for rural electrification in bhutan: Does electrification improve the quality of rural life, An Evaluation Study. ADB. Independent Evaluation Department.
- [5] P. Diaz, C. Arias, R. Pea, D. Sandoval, Far from the grid: A rural electrification field study, Renewable Energy 35 (12) (2010) 2829 – 2834.
- [6] F. F. Nerini, O. Broad, D. Mentis, M. Welsch, M. Bazilian, M. Howells, A cost comparison of technology approaches for improving access to electricity services, Energy 95 (2016) 255 – 265.
- [7] A. Kaabeche, R. Ibtouen, Techno-economic optimization of hybrid photovoltaic/wind/diesel/battery generation in a stand-alone power system, Solar Energy 103 (2014) 171 – 182.
- [8] R. K. Akikur, R. Saidur, H.W. Ping, K. R. Ullah, Comparative study of stand-alone and hybrid solar energy systems suitable for on-grid rural electrification: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews 27 (2013) 738–752.
- [9] F. Riva, H. Ahlborg, E. Hartvigsson, S. Pachauri, E. Colombo, Electricity access and rural development: Review of complex socio-economic dynamics and casual diagrams for more appropriate energy modelling, Energy for sustainable development 43 (2018) 203–223.
- [10] S. Mandelli, C. Brivio, E. Colombo, M. Merlo, A sizing methodology based on levelized cost of supplied and lost energy for on-grid rural electrification systems, Renewable Energy 89 (2016) 475–488.
- [11] F. Riva, A. Tognollo, F. Gardumi, E. Colombo, Long-term energy planning and demand forecast in remote areas of developing countries: Classification of case studies and insights from a modelling perspective, Energy strategy reviews 20 (2018) 71–89.
- [12] Photovoltaic Geographical Information System, [http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html#PVP](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP)
- [13] Q. Altes Buch, M. Orosz, S. Quoilin, V. Lemort, Rule-based control and optimization of a hybrid solar microgrid for rural electrification and heat supply in sub-saharan africa., Proceedings of the 30th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems 1 (1) (2017) 1263–1273.