



www.umass.duzce.edu.tr

4th International Engineering Research Symposium INERS'22

March 04-06, 2022, Düzce, Türkiye
ISBN: 978-605-71407-0-8

Optimum Planning of a Microgrid System Using Integer Linear Programming **Tam Sayılı Doğrusal Programlama Kullanarak Bir Mikro Şebeke Sisteminin Optimum** **Planlanması**

Emre Güler^{a,}, Mehmet Zeki Bilgin^b*

^aKTO Karatay Üniversitesi, Enerji Yönetimi Bölümü, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Konya/Türkiye.

^bKocaeli Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kocaeli/Türkiye.

*Sorumlu Yazar: emre.guler@karatay.edu.tr

ABSTRACT

Integer linear programming can be used in many areas as well as a method used for optimum planning of a microgrid system consisting of renewable energy sources. Wind energy, photovoltaic, fuel cell and battery sources are used to meet the load of a residence. Situations such as not being able to benefit from photovoltaic throughout the day, obtaining variable values from wind energy during the day, and the capacity of the battery show that the energy sources to be used for the electricity need of the house should work within a planning. The battery is charged when the energy produced from energy sources is more than the need of the house. In cases where the energy sources are insufficient for the load requirement of the house, energy is used from the battery or fuel cell. In the study, the state of charge of the battery is also monitored. The GAMS program was used as the optimization application. The program finds out which energy source will be used in which time period and the resulting cost. In the application, which was carried out with different scenarios, which energy source should be used more and the costs were reached. According to the results of the application, it has been seen that the integer linear programming method is effective in the optimum planning of the working times of the energy resources, as it will be the most cost-effective.

Keywords: *Integer Linear Programming, Microgrid, Optimization, Renewable Energy Sources.*

ÖZET

Tam sayılı doğrusal programlama, bir çok alanda kullanılabileceği gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşan bir mikro şebeke sisteminin optimum planlanması için de kullanılan bir yöntemdir. Rüzgar enerjisi, fotovoltaiik, yakıt hücresi ve batarya kaynakları bir konutun yükünü karşılamak için kullanılmıştır. Fotovoltaiikten günün tamamında yararlanamama, rüzgar enerjisinden gün içinde değişken değerler elde edilmesi, bataryanın kapasitesi gibi durumlar konutun elektrik ihtiyacı için kullanılacak enerji kaynaklarının bir planlama dahilinde çalışması gerektiğini göstermektedir. Enerji kaynaklarından üretilen enerjinin konutun ihtiyacından fazla olduğu zamanlarda batarya şarj edilmektedir. Enerji kaynaklarının konutun yük ihtiyacına yetersiz kaldığı durumlarda bataryadan veya yakıt pilinden enerji kullanılmaktadır. Çalışmada, bataryanın şarj durumu da takip edilmektedir. Optimizasyon uygulaması olarak GAMS programı kullanılmıştır. Program, hangi enerji kaynağının hangi zaman diliminde kullanılacağını ve ortaya çıkan maliyeti bulmaktadır. Farklı senaryolarla gerçekleştirilen uygulamada hangi enerji kaynağının daha fazla kullanılması gerektiği ve maliyetlere ulaşılmıştır. Uygulama sonucuna göre tam sayılı doğrusal programlama yöntemi, en uygun maliyetli olacak şekilde enerji kaynaklarının çalışma zamanlarının optimum planlanmasında etkili olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: *Tam Sayılı Doğrusal Programlama, Mikro Şebeke, Optimizasyon, Yenilenebilir Enerji Kaynakları.*

I. GİRİŞ

Yük ve üretim arasındaki dengeyi sağlamak, güç sistemlerinin temelleri arasındadır. Yük ve üretim arasındaki arz-talep dengesini sağlamak için bazı yöntemler kullanılır. Bunlardan bir tanesi de Talep Tarafı Yönetimidir. Bu yöntem ile üretim payında

azalma, iletim ve dağıtım şebekelerinde verimlilik sağlanabilir [1].

Yenilenebilir enerji kaynakları; çevreye verilen zararın daha az olması, verimliliğin giderek artması, fosil kaynaklara sahip olmayan ülkeler için alternatif olması gibi sebeplerden dolayı daha çok kullanılmaya

başlamıştır. Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriği kullanmak isteyenler için yeşil tarife uygulamaya geçmiştir.

Mikro şebeke, şebekeden bağımsız veya şebekeye bağımlı olarak işletilebilen, yükleri ve üretimleri sınırlı küçük boyutlu enerji şebekeleridir. Dağıtılmış enerji kaynaklarının ve küçük ölçekli yenilenebilir enerji kaynaklarının dağıtımına eşlik eden yenilenebilir enerji teknolojilerini ele alan ileriye dönük bir güç sistemidir[2]. Mikro şebekenin faydaları, azaltılmış iletim ve dağıtım maliyetleri ve enerji kayıpları, potansiyel olarak daha fazla enerji verimliliği, küçük ölçekli bireysel yatırımların kapasite artışlarını talepteki büyümeyle yakından eşleştirerek sermaye riskini azaltması, düşük sermaye maliyeti, potansiyel olarak rekabetçi bir pazara düşük maliyetli giriş sağlaması gösterilebilir[3].

Yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimi sağlayan mikro şebeke sistemleri için enerji kaynaklarının kullanılma zamanlarının planlanması ve maliyetlerin en aza indirilmesi için optimizasyon yöntemleri kullanılabilmektedir. Optimizasyon, meta-sezgisel algoritmalar, kısıtlı algoritmalar, doğrusal programlama, karışık tam sayılı doğrusal programlama, doğrusal olmayan optimizasyon gibi konuları içeren büyük bir alandır[4]. GAMS programı kullanarak akıllı evlerin enerji tüketiminin mikro şebeke ile enerji planlaması konusunda çalışmalar yapılabilmektedir[5]. Doğrusal programlama ve farklı yöntemler, mikro şebeke sistemleri üzerinde birçok problemin çözümünde kullanılmaktadır[6-10]. Parçacık sürü optimizasyonu, genetik algoritma gibi metasezgisel algoritmalar da mikro şebeke sistemlerinin verimli işletilmesinde rol almaktadırlar[11]. Yerçekimsel arama algoritması da rüzgar, güneş ve yakıt hücresinden üretim sağlayan bir mikro şebeke sistemi için kullanılmıştır[12].

Bu çalışmada rüzgar, fotovoltaik, yakıt hücresi ve batarya kaynaklarının mikro şebeke içerisindeki yalnızca bir konut için gerekli yükü karşıladığı bir sistem tasarlanmaktadır. Güneş enerjisinden günün tamamında yararlanılamamaktadır. Rüzgar enerjisinden gün içinde farklı büyüklüklerde enerji üretilebilmektedir. Yakıt pili kullanım fiyatı olarak bu sistemdeki en pahalı kaynak olarak görülmektedir. Sistemde kullanılan enerji kaynaklarının tüm bu özellikleri değerlendirildiğinde yükün ihtiyacını karşılamak ve bunu en uygun maliyetlerle yapabilmek için enerji kaynaklarının kullanım zamanlarının planlanması gerektiği sonucuna ulaşılabilmektedir.

İlk kısımda konuya giriş yapılmış ve problem tanımlanmıştır. İkinci kısımda uygulanan yöntem anlatılmış, enerji kaynaklarının kullanım kısıtları ve kaynakların maliyetleri belirtilmiştir. Bulgular ve sonuçlar ilerleyen bölümlerde gösterilmiştir.

II. MATERYALVE METOT

Belirli kısıtlamalar altında, belirli bir amaç için kısıtlı kaynakların en verimli şekilde kullanılmasıyla kar maksimizasyonu veya maliyet minimizasyonu şeklinde oluşturulan matematiksel modele doğrusal programlama denir[13]. Karar değişkeni {0,1} gibi tamsayılardan oluşan doğrusal programlama türlerine tamsayılı doğrusal programlama denir[14]. Bu çalışmada belirtilen sisteme tam sayılı doğrusal programlama yöntemi GAMS programı yardımı ile uygulanmıştır.

Bu bölümde amaç fonksiyonu, kullanılan yöntem, enerji kaynaklarının kullanım kısıtları ve uygulanan yöntemin akış şeması gösterilmiştir.

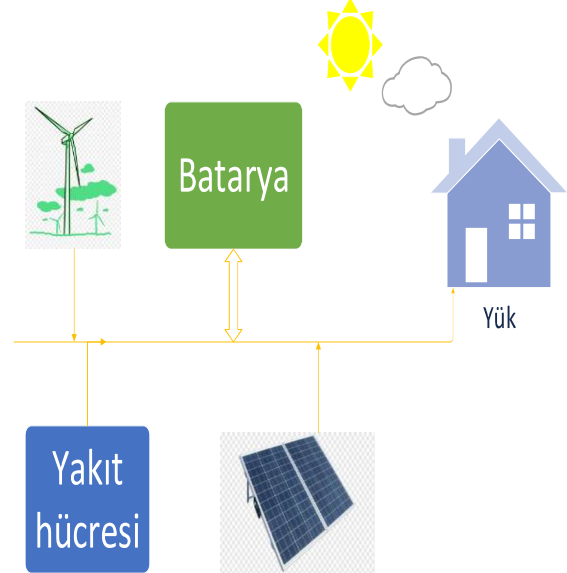
A. Amaç Fonksiyonu

Bu çalışmanın amacı enerji kaynaklarının kullanım saatlerini optimize etmek ve maliyetin minimum değerini bulmaktır.

$$\min \sum_{t=1}^{24} P_{rüzgar} * F_{rüzgar} + P_{fv} * F_{fv} + P_{yakıt} * F_{yakıt} + P_{batarya} * F_{batarya}$$

$$\sum_{t=1}^{24} (P_{rüzgar} + P_{fv} + P_{yakıt} + P_{batarya} = P_{batarya(şarj)} + \text{Yük})$$

Rüzgar, fotovoltaik ve yakıt hücresinden üretilen enerji, yükten fazla olduğu durumlarda bataryayı şarj etmekte kullanılmaktadır. Mikro şebeke sistemi içerisindeki bir konut için gerekli yükü besleyen enerji kaynaklarının şeması Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Mikro şebeke sistemi içerisinde bir ev için yükü besleyen enerji kaynakları şeması

Uygulama süresi 24 saat olup i zaman dilimlerini j ise enerji kaynaklarını temsil etmektedir. Amaç fonksiyonu aşağıda gösterilmiştir:

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} C(i, j) \cdot x(i, j)$$

B. Tam Sayılı Doğrusal Programlama Modeli

Amaç fonksiyonunda gösterilen x ve C değişkenleri aşağıda açıklanmıştır. Eş.(1) maliyetin hesaplanması göstermektedir.

x değişkeninin aldığı değerler
 $x_{ij} = 1$; j . kaynak i . zaman diliminde kullanıldığında
 $= 0$; diğer durumlarda
 C_{ij} = j . kaynak i . zaman diliminde kullanıldığında oluşan maliyet
 E_{ij} = j . kaynak i . zaman diliminde kullanıldığında üretilen enerji
 f_{ij} = j . kaynak i . zaman diliminde kullanıldığında fiyatı(kr/kWh)

$$C_{ij} = E_{ij} \cdot f_{ij} \quad (1)$$

Tablo 1. Enerji kaynaklarından üretim fiyatları

Rüzgar	Güneş	Yakıt pili	Batarya şarj	Batarya deşarj
222.7	222.7	445.4	222.7	334.05

Enerji kaynaklarının ücretleri kr/kWh biriminden Tablo 1'de gösterilmiştir. Yeşil tarifedeki tüketim bedeli rüzgar ve güneş için üretim fiyatı kabul edilmiştir. Çalışmada iki farklı senaryo ele alınmıştır. Senaryo 2, Senaryo 1'e göre yük ihtiyacının daha fazla olduğu durumdur. Senaryo 1'deki enerji kaynaklarından üretilen enerji değerleri ve yük ihtiyacı ile Senaryo 2'deki enerji kaynaklarından üretilen enerji değerleri ve yük ihtiyacı sırasıyla Tablo 2 ve Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 2. Gün içinde farklı zaman dilimlerinde üretilen enerji miktarları(senaryo 1)

Zaman Dilimleri	Yük (kW)	Rüzgar (kWh)	Güneş (kWh)	Yakıt pili (kWh)
0-6	1.75	1.35	0	0.4
6-12	2.05	1.5	0.75	
12-18	2.2	1.5	1	
18-24	2.15	1.75	0	0.4

Tablo 3. Gün içinde bataryanın şarj ve deşarj durumu (senaryo 1)

Zaman Dilimleri	Şarj (kWh)	Deşarj (kWh)	Şarj durumu (kWh)
0-6		1.2	0
6-12	1.2		1.2
12-18	1.8		3
18-24		1.6	1.4

Senaryo 1'deki günlük yük ihtiyacı 8.15 kWh iken Senaryo 2'deki günlük yük ihtiyacı 9.35 kWh'tır. Senaryo 1'deki bataryanın şarj ve deşarj durumu ile Senaryo 2'deki bataryanın şarj ve deşarj durumu Tablo 3 ve Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 4. Gün içinde farklı zaman dilimlerinde üretilen enerji miktarları(senaryo 2)

Zaman Dilimleri	Yük (kW)	Rüzgar (kWh)	Güneş (kWh)	Yakıt pili (kWh)
0-6	1.95	1.35	0	0.6
6-12	2.15	1.5	0.75	
12-18	2.9	1.5	1	0.4
18-24	2.35	1.75	0	0.6

Tablo 5. Gün içinde bataryanın şarj ve deşarj durumu (senaryo 2)

Zaman Dilimleri	Şarj (kWh)	Deşarj (kWh)	Şarj durumu (kWh)
0-6		1.2	0
6-12	0.6		0.6
12-18	1.2		1.8
18-24		0.6	1.2

C. Kısıtlar

Bataryanın en yüksek güç değeri, ilk güç değeri ve gün sonundaki güç değeri ile yakıt hücresinin maksimum güç değeri gösterilmiştir.

$$P_{yakıt} \leq 600W \quad (2)$$

$$P_{batarya} \leq 2kW \quad (3)$$

$$P_{batarya(t=0)} = 1200W \quad (4)$$

$$P_{batarya(t=24)} \geq 1200W \quad (5)$$

Eş.(2) yakıt hücresinden en fazla 600 W güç alınabileceğini gösterirken, Eş.(3) batarya için bu değerin en fazla 2 kW olabileceğini göstermektedir. Eş.(4) başlangıç zamanında bataryanın güç değerinin 1200 W olduğunu, Eş.(5) ise gün sonunda bu değerin en az 1200 W olması gerektiğini ifade etmektedir. Enerji kaynaklarının hangi zaman dilimi aralığında toplam kaç saat çalışacağı aşağıdaki kısıtlarda belirtilmiştir:

$$\sum_{i=1}^{24} x(i, j) = 24, \forall j = 1 \quad (6)$$

$$\sum_{i=6}^{18} x(i, j) = 12, \forall j = 2 \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^{24} x(i, j) = 5, \forall j = 3 \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^{24} x(i, j) = 7, \forall j = 4 \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^{24} x(i, j) = 15, \forall j = 3 \quad (10)$$

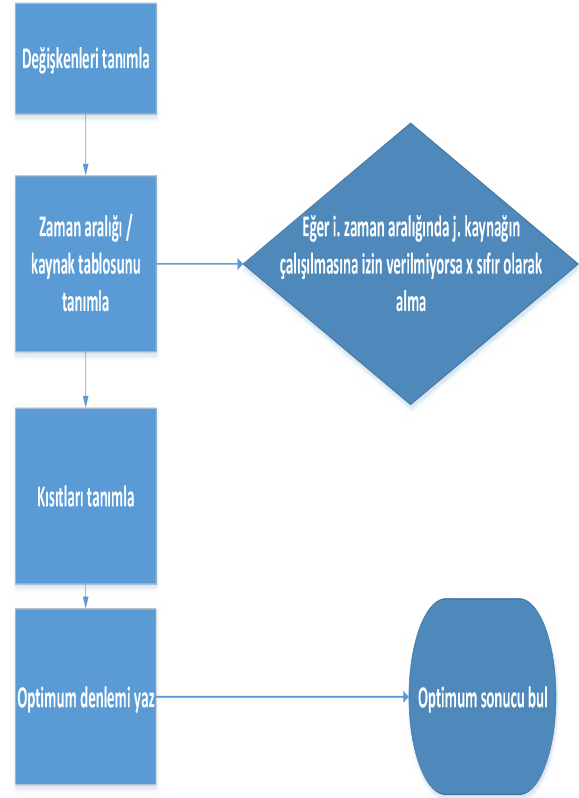
$$\sum_{i=1}^{24} x(i, j) = 3, \forall j = 4 \quad (11)$$

$$(if(E_{ij}) \leq 2.35), \quad (12)$$

$$\text{then } \sum_{j=1}^j x_{ij} \leq 2, \forall i$$

Eş.(6) rüzgar enerjisinin 24 saat kullanılacağını, Eş.(7) ise fotovoltaiikten 6:00-18:00 saatleri arasında 12 saat enerji kullanılacağını ifade etmektedir. Senaryo 1 için Eş.(8) ve Eş.(9) sırasıyla yakıt hücresinin 5 saat, bataryanın 7 saat kullanılacağını göstermektedir. Senaryo 2 için Eş.(10) ve Eş.(11) sırasıyla yakıt hücresinin 15 saat, bataryanın 3 saat kullanılacağını göstermektedir. Eş.(12) ise enerji ihtiyacının 2.35 kWh'ten yüksek olmadığı durumlarda aynı anda en fazla iki kaynağın kullanılması gerektiğini ifade etmektedir.

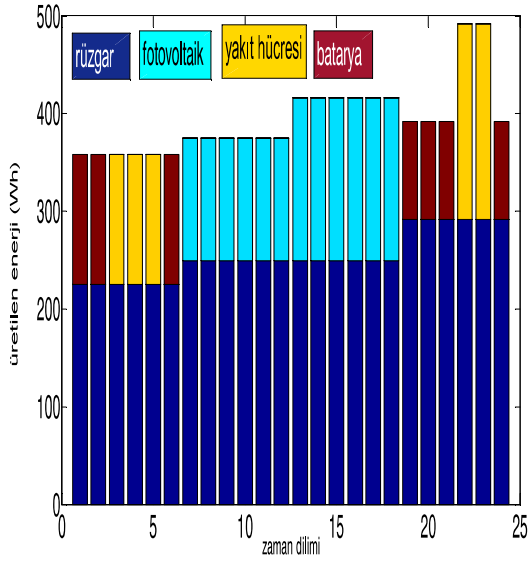
GAMS programında oluşturulan algoritmada değişkenlerin ve kısıtların tanımlanması ile optimum denklemin ifadesi Şekil 2'deki akış şeması izlenerek yapılmıştır.



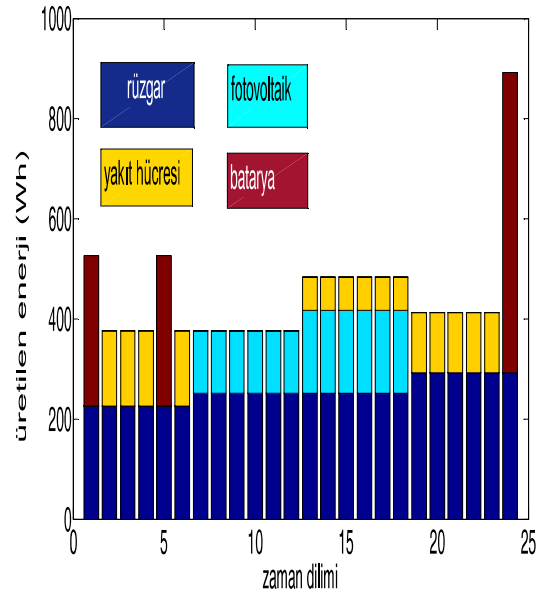
Şekil 2. Uygulanan yöntemin akış şeması

III. SONUÇLAR

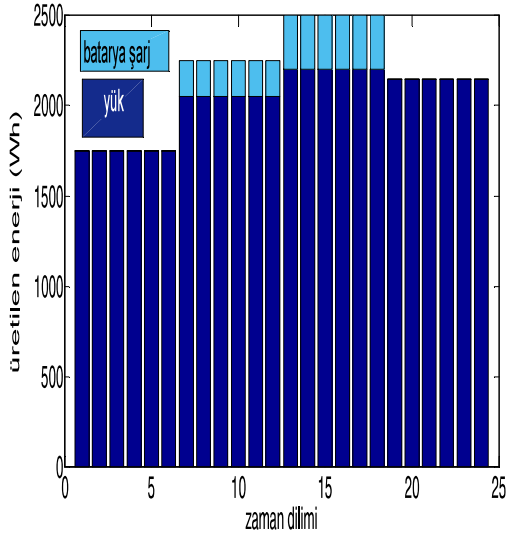
Senaryo 1'e göre enerji kaynaklarının kullanım planlaması Şekil 2'de, bataryanın şarj edildiği zamanlar ve yük ihtiyacı Şekil 3'de gösterilmiştir. Senaryo 2'ye göre enerji kaynaklarının kullanım planlaması ise Şekil 5'te, bataryanın şarj edildiği zamanlar ve yük ihtiyacı Şekil 6'da gösterilmiştir. Senaryo 2'de yük ihtiyacı daha fazla olduğu için Şekil 5'te görüldüğü gibi batarya yeterli olamamış ve ilk senaryoya göre yakıt hücresi daha çok devreye girmiştir.



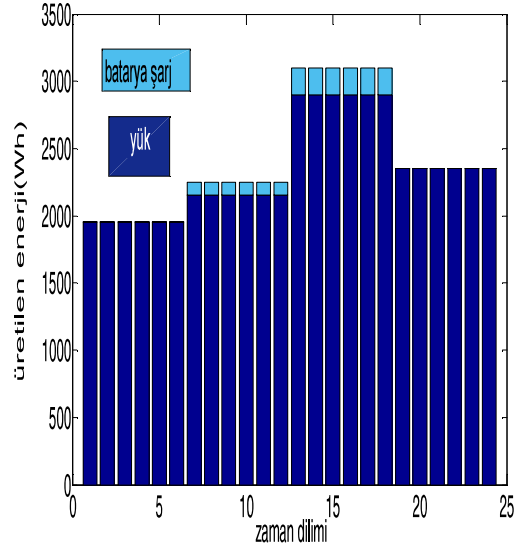
Şekil 3. Senaryo 1'e göre üretileen enerji kaynakları



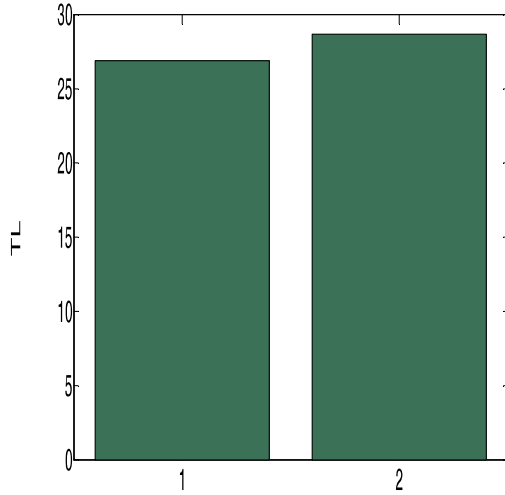
Şekil 5. Senaryo 2'ye göre üretileen enerji kaynakları



Şekil 4. Senaryo 1'e göre bataryanın şarjı ve yükün durumu



Şekil 6. Senaryo 2'ye göre bataryanın şarjı ve yükün durumu



Şekil 7. İki senaryonun maliyetlerinin karşılaştırılması

Uygulama 24 saat üzerinden yapılmıştır. Dolayısıyla bulunan değerler günlük maliyetlerdir. Şekil 7'ye göre senaryo 1'in maliyeti 26.84 TL, senaryo 2'nin maliyeti 28.62 TL olarak gerçekleşmiştir.

IV. TARTIŞMA

Mikro şebekelerde enerji dengesizliği gibi sorunlar olmasına karşın düşük yük ihtiyacı olan sistemlere yenilenebilir enerjiden elektrik sağlama gibi olanakları vardır. Rüzgar enerjisinden gün içinde sabit enerji sağlanamama, fotovoltaiklardan günün önemli bölümünde enerji sağlanamama, yakıt pillerinin kullanımının maliyetli olması ve bataryanın belirli bir kapasiteye kadar çalışabilmesi problemlerine çözüm olarak enerji kaynaklarının optimum çalışma planlamasının yapılması önem arz etmektedir. İleriki çalışmalarda, farklı maliyetler getiren tüketim miktarları göz önüne alınarak, senaryolar çoğaltılarak çalışmalar yapılabilir. Kullanılan tam sayılı doğrusal programlama haricinde diğer matematiksel yöntemler veya metasezgisel ve hibrit yöntemler de kullanılarak analizler yapılabilir. Bunun haricinde rüzgar hızı, solar radyasyon gibi değerler üzerinde tahmin çalışmaları yapıp üretim tahmini üzerinden optimum planlama yapılabilir.

V. ÇIKARIM

Yük ihtiyacının fazla olduğu durumlarda aynı anda daha fazla enerji kaynağının kullanılabilmesi, enerji kaynaklarının kullanılma zamanlarının planlanması ve maliyetlerin minimuma indirilmesi için mikro

şebeke sisteminde bir konutun yük ihtiyacı için optimum planlama gerçekleştirilmiştir. Problemin amaç fonksiyonu ve kısıtları tanımlandığında tam sayılı doğrusal programlama yönteminin bu sistem için kullanılabilmesi görülmüştür. Uygulanan optimizasyon sayesinde gün içinde belirli saat dilimlerinde konutun yükünü minimum maliyetle hangi enerji kaynağından karşılanabileceği belirlenmiştir. GAMS programı her saat dilimi için hangi enerji kaynağının kullanılması gerektiğini ve bu durumun maliyetini göstermiştir. Farklı senaryolar gerçekleştirilerek yük ihtiyacının fazla olduğu durumlarda enerji kaynaklarının kullanımının farklılaşması ve bunun getirdiği maliyet gösterilmiştir.

Tam sayılı doğrusal programlama yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım zamanlarının planlanmasında etkili bir yöntem olduğu ve minimum maliyetin hesaplanması için de kullanılabilmesi görülmüştür. Günün farklı zaman dilimlerinde değişen yük ihtiyacına karşılık verebilen, enerji kaynaklarının çalışma zamanlarını planlayan ve bunu optimum maliyete göre yapan etkili bir optimizasyon yöntemi olduğunu göstermiştir.

KAYNAKLAR

- [1] G. Strbac. "Demand side management: benefits and challenges", Energy Policy, 36, 4419-4426, 2008
- [2] H.Daneshi, H. Khorashadi-Zadeh. "Microgrid energy management system: a study of reliability and economic issues". IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2012
- [3] S. Abu-Sharkh, R.J. Arnold, J. Kohler, R. Li, T. Markvart, J.N. Ross, K. Steemers, P. Wilson, R. Yao. "Can microgrids make a major contribution to UK energy supply? Renewable and Sustainable Energy Reviews, 10, 78-127, 2006
- [4] E.G. Talbi. "Metaheuristics from design to implementation". New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. 2009
- [5] D. Zhang, L. G. Papageorgiou, N. J. Samsatli, N. Shah. "Optimal Scheduling of Smart Homes Energy Consumption with Microgrid", The First International Conference on Smart Grids, Green Communications and IT Energy-aware Technologies, 70-75, 2011
- [6] L.L.R. Gomes, R.Melicio, V.M.F. Mendes. "A novel microgrid support management system based on stochastic mixed-integer linear programming", Energy, 223, 2021
- [7] H. Morais, P. Kadar, P. Faria, Z.A. Vale, H.M. Khodr. "Optimal scheduling of a renewable micro-grid in an isolated load area using mixed-integer linear programming". Renewable Energy, 35, 151-156, 2010
- [8] K. Jalilpoor, S. Nikkiah, M.S. Sepasian, M.G. Aliabadi. "Application of precautionary and corrective energy management strategies in improving networked microgrids resilience: A two-stage linear programming". Electric Power Systems Research, 204, 2022
- [9] M. Nemati, M. Braun, S. Tenbohlen. "Optimization of unit commitment and economic dispatch in microgrids based on genetic algorithm and mixed integer linear programming". Applied Energy, 210, 944-963, 2018

- [10] L. Guo, R. Hou, Y. Liu, C. Wang, H. Lu. "A novel typical day selection method for the robust planning of stand-alone wind-photovoltaic-diesel-battery microgrid". *Applied Energy*, 263, 2020
- [11] K.H. Kim, S.B. Rhee, K.B. Song, K.Y. Lee."An efficient operation of a microgrid using heuristic optimization techniques: harmony search algorithm, PSO, GA. IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2012
- [12] T. Nikham, F. Golestaneh, A. Malekpour. "Probabilistic energy and operation energy management of a microgrid containing wind/photovoltaic/fuel cell generation and energy storage devices based on point estimate method and self-adaptive gravitational search algorithm". *Energy*, 43, 427-437, 2012
- [13] E. Yıldırım "Dinamik Programlama ve İstatistiksel Bazı Uygulamalar". MSc. Yıldız Technical University, İstanbul, Turkey, 2016
- [14] (2022) İstanbul Üniversitesi Açık ve Uzaktan Eğitim Fakültesi. [Online]. Erişilebilir: https://cdn-acikogretim.istanbul.edu.tr/uzefcontent/20_21_Bahar/yoneylem_arastirmasi/6/index.html